

Encyclopédie agricole

E. RISLER & G. WERY

IRRIGATIONS

ET

DRAINAGES



PARIS
J. BAILLIÈRE & FILS

I. E. E. A. - Biblioteca

I. E. E. A. - Biblioteca

Recebido em

17/4/73
Petezulus

WILLIERS ET FILS

Procedência

Dr. Hollanda

Atas Médicas, Encyclo-
Petite Bibliothèque agri-
tiques:

EW

mulaires et Aide-mémoire.

ibliothèque des Connais-

REGISTRO Nº. 5980

Prop. Biblioteca do

I.E.E. Agrícolas

Levantamento

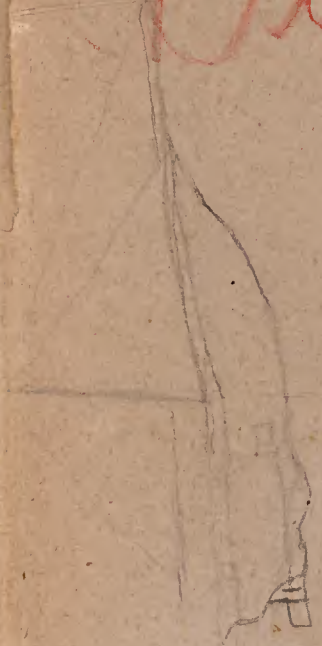
Pubeiro 1958

opédie industrielle.

de 10% sur tous les
du catalogue.

du 27 juin 1917.

Dupl.



e, eo -



Arthur G. Allan de
Eng^{rs} - agronomes
30-10-920

R\$ 70,00

631.7

R595

ENCYCLOPÉDIE AGRICOLE

Publiée sous la direction de G. WERY

E. RISLER ET G. WERY

IRRIGATIONS ET DRAINAGES



Encyclopédie Agricole

Chaque volume : broché, 5 fr. ; cartonné, 6 fr.

Botanique agricole.....	MM. SCHRIEBAUX et NANOT, prof. à l'Inst. agron.
Chimie agricole, 2 vol.....	M. ANDRÉ, prof. à l'Inst. agron.
Géologie agricole.....	M. CORD, professeur d'agriculture.
Hydrologie agricole.....	M. DIENERT, ingénieur agronome.
Microbiologie agricole.....	M. KATSER, maître de conf. à l'Inst. agron.
Zoologie agricole.....	M. G. GUÉNAUX, répétiteur à l'Inst. agronomique.
Entomologie et Parasitologie agric.....	M. GUILLIN, dir. du lab. de la S. des agr. de France.
Analyses agricoles, 2 vol.....	M. P. DIFFLOTH, professeur d'agriculture.
Agriculture générale, 2 vol.....	
Engrais.....	M. GAROLA, dir. des serv. agric. d'Eure-et-Loir.
Céréales.....	
Prairies et plantes fourragères.....	M. HITIER, maître de conf. à l'Inst. agron.
Plantes industrielles.....	M. L. BUSSARD, prof. à l'Ec. d'hort. de Versailles.
Plantes sarclées.....	MM. L. BUSSARD et G. DUVAL.
Cultures potagères.....	M. FROM, inspecteur des eaux et forêts.
Arboriculture fruitière.....	
Sylviculture.....	M. PACOTTET, chef de lab. à l'Inst. agron.
Viticulture.....	
Cultures de serres.....	MM. RIVIÈRE et LECQ, insp. de l'agric. à Alger.
Cultures méridionales.....	MM. DELACROIX et MATHALAN.
Maladies des plantes cultivées, 2 vol.....	
Zootéchnie générale, 2 vol.....	
— Races bovinées.....	
— Races chevalines.....	M. P. DIFFLOTH, professeur d'agriculture.
— Moutons, Chèvres, Porcs.....	
— Lapins, Chiens, Chats.....	
Apiculture.....	M. VOITELLIER, maître de conf. à l'Inst. agron.
Pisciculture.....	M. HOMMEL, professeur d'apiculture.
Sériciculture.....	M. G. GUÉNAUX, répétiteur à l'Inst. agronomique.
Alimentation des animaux.....	M. VIREL, insp. de la séric. de l'Indo-Chine.
Hygiène et maladies du bétail.....	M. R. GOUIN, ing. agronome.
Hygiène de la ferme.....	MM. CAGNY, méd. vétér., et R. GOUIN.
Élevage et Dressage du Cheval.....	MM. REGNARD et PORTIER.
Chasse, Élevage du gibier, Piégeage.....	M. G. BONNEFONT, officier des haras.
Pratique du Génie rural.....	M. A. DE LESSE, ing. agronome.
Machines agricoles, 2 vol.....	MM. ROLLEY, PROVOST, ing. des amél. agric.
Matériel agricole.....	M. COUPAN, chef de travaux à l'Inst. agronomique.
Matériel viticole.....	M. BRUNET, Introduction par M. VIALA.
Constructions rurales.....	M. DANGUY, dir. des études de l'École de Grignon.
Arpentage et Nivellement.....	M. MURET, professeur à l'Institut agronomique.
Irrigations et Drainage.....	MM. RISLER et WERY.
Électricité agricole.....	M. PETIT, ingénieur agronome.
Météorologie agricole.....	M. KLEIN, ingénieur agronome, docteur ès sciences.
Meunerie.....	M. L. AMMANN, prof. à l'Ec. de Grignon.
Sucrerie.....	M. SAILLARD, prof. à l'École des ind. agr.
Brasserie.....	M. BOULLANGER, chef de lab. à l'Inst. Past. de Lille.
Distillerie.....	M. WARCOLLIER, dir. de la stat. pomolog. de Caen.
Pomologie et Cidricerie.....	
Vinification.....	M. PACOTTET, chef de lab. à l'Inst. agron.
Eaux-de-vie et Vinaigres.....	M. CH. MARTIN, anc. dir. de l'École d'ind. lait.
Laiterie.....	M. ROLET, professeur d'agriculture à Antibes.
Cons. de Fruits et de Légumes, 2 vol.....	M. PLEVINAGE, ingénieur agronome.
Indust. et Com. des Engrais.....	
Économie rurale.....	M. JOUZIER, prof. à l'École d'agric. de Rennes.
Législation rurale.....	M. CONVERT, professeur à l'Institut agronomique.
Comptabilité agricole.....	M. POKER, insp. commercial à la C ^e d'Orléans.
Commerce des Produits agricoles.....	M. VUIGNIK, ingénieur agronome.
Comment exploiter un domaine.....	M. P. CAZIOT, ingénieur agronome.
Valeur de la terre en France.....	M ^{me} O. BUSSARD.
Le Livre de la Fermière.....	
Précis d'Agriculture.....	M. SELTENSBERGER, professeur d'agriculture.
Lectures agricoles.....	
Dictionnaire d'Agriculture, 2 vol.....	

ENCYCLOPÉDIE AGRICOLE
Publiée par une réunion d'Ingénieurs agronomes
SOUS LA DIRECTION DE G. WERY

IRRIGATIONS ET DRAINAGES

PAR

E. RISLER

MEMBRE DE L'ACADÉMIE D'AGRICULTURE
DE FRANCE, DIRECTEUR HONORAIRE
DE L'INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE.

G. WERY

MEMBRE DE L'ACADÉMIE D'AGRICULTURE
DE FRANCE, SOUS-DIRECTEUR DE L'INSTITUT
NATIONAL AGRONOMIQUE.

Introduction par le D^r P. REGNARD

DIRECTEUR DE L'INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE

Troisième édition revue et augmentée

Avec 186 figures

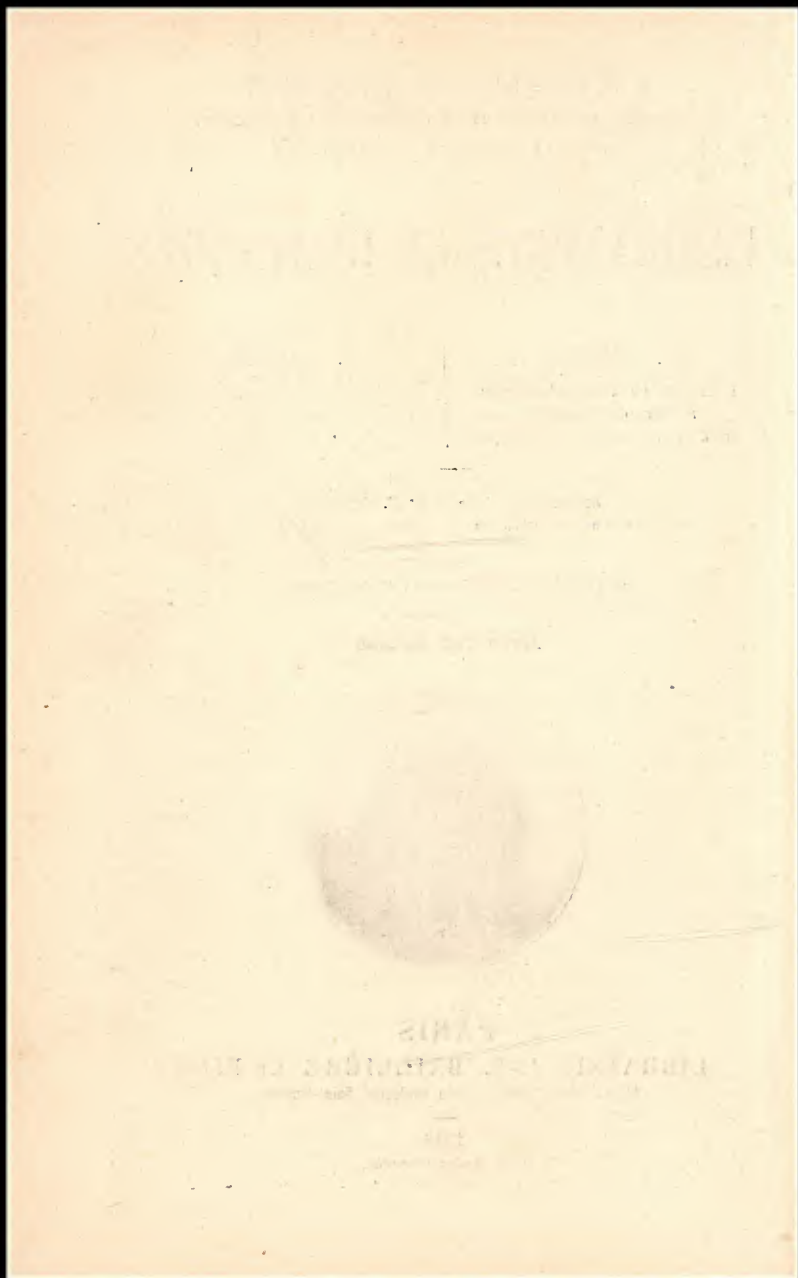


PARIS

LIBRAIRIE J.-B. BAILLIÈRE ET FILS
19, rue Hautefeuille, près du boulevard Saint-Germain.

1916

Tous droits réservés.



INTRODUCTION

Si les choses se passaient en toute justice, ce n'est pas moi qui devrais signer cette préface.

L'honneur en reviendrait plus naturellement à l'un de mes deux éminents prédécesseurs.

A Eugène TISSERAND, que nous devons considérer comme le véritable créateur en France de l'enseignement supérieur de l'agriculture : n'est-ce pas lui qui, pendant de longues années, a pesé de toute sa valeur scientifique sur nos gouvernements et obtenu qu'il fût créé à Paris un Institut agronomique comparable à ceux dont nos voisins se montraient fiers depuis déjà longtemps.

Eugène RISLER, lui aussi, aurait dû, plutôt que moi, présenter au public agricole ses anciens élèves devenus des maîtres. Près de douze cents ingénieurs agronomes, répandus sur le territoire français, ont été façonnés par lui : il est aujourd'hui notre vénéré doyen, et je me souviens toujours avec une douce reconnaissance du jour où j'ai débuté sous ses ordres et de celui, proche encore, où il m'a désigné pour être son successeur (1).

Mais, puisque les éditeurs de cette collection ont voulu que ce fût le directeur en exercice de l'Institut agronomique

(1) Depuis que ces lignes ont été écrites, nous avons eu la douleur de perdre notre éminent maître, M. Risler, décédé le 6 août 1905, à Calève (Suisse). Nous tenons à renouveler ici les regrets toujours profonds que nous cause cette perte. M. Eugène Risler laisse dans la science agronomique une œuvre impérissable.

qui présentât aux lecteurs la nouvelle *Encyclopédie*, je vais tâcher de dire brièvement dans quel esprit elle a été conçue.

Des Ingénieurs agronomes presque tous professeurs d'agriculture, tous anciens élèves de l'Institut national agronomique, se sont donné la mission de résumer, dans une série de volumes, les connaissances pratiques absolument nécessaires aujourd'hui pour la culture rationnelle du sol. Ils ont choisi pour distribuer, régler et diriger la besogne de chacun, Georges WERY, que j'ai le plaisir et la chance d'avoir pour collaborateur et pour ami.

L'idée directrice de l'œuvre commune a été celle-ci : extraire de notre enseignement supérieur la partie immédiatement utilisable par l'exploitant du domaine rural et faire connaître du même coup à celui-ci les données scientifiques définitivement acquises sur lesquelles la pratique actuelle est basée.

Ce ne sont pas de simples Manuels, des Formulaires irraisonnés que nous offrons aux cultivateurs ; ce sont de brefs Traités, dans lesquels les résultats incontestables sont mis en évidence, à côté des bases scientifiques qui ont permis de les assurer.

Je voudrais qu'on puisse dire qu'ils représentent le véritable esprit de notre Institut, avec cette restriction qu'ils ne doivent ni ne peuvent contenir les discussions, les erreurs de route, les rectifications qui ont fini par établir la vérité telle qu'elle est, toutes choses que l'on développe longuement dans notre enseignement, puisque nous ne devons pas seulement faire des praticiens, mais former aussi des intelligences élevées, capables de faire avancer la science au laboratoire et sur le domaine.

Je conseille donc la lecture de ces petits volumes à nos anciens élèves, qui y retrouveront la trace de leur première éducation agricole.

Je la conseille aussi à leurs jeunes camarades actuels, qui



trouveront là, condensées en un court espace, bien des notions qui pourront leur servir dans leurs études.

J'imagine que les élèves de nos Écoles nationales d'agriculture pourront y trouver quelque profit et que ceux des Écoles pratiques devront aussi les consulter utilement.

Enfin c'est au grand public agricole, aux cultivateurs, que je les offre avec confiance; ils nous diront, après les avoir parcourus, si, comme on l'a quelquefois prétendu, l'enseignement supérieur agronomique est exclusif de tout esprit pratique. Cette critique, usée, disparaîtra définitivement, je l'espère. Elle n'a d'ailleurs jamais été accueillie par nos rivaux d'Allemagne et d'Angleterre, qui ont si magnifiquement développé chez eux l'enseignement supérieur de l'agriculture.

Successivement, nous mettons sous les yeux du lecteur des volumes qui traitent du sol et des façons qu'il doit subir, de sa nature chimique, de la manière de la corriger ou de la compléter, des plantes comestibles ou industrielles qu'on peut lui faire produire, des animaux qu'il peut nourrir, de ceux qui lui nuisent.

Nous étudions les manipulations et les transformations que subissent, par notre industrie, les produits de la terre: la vinification, la distillerie, la panification, la fabrication des sucres, des beurres, des fromages.

Nous terminons en nous occupant des lois sociales qui régissent la possession et l'exploitation de la propriété rurale.

Nous avons le ferme espoir que les agriculteurs feront un bon accueil à l'œuvre que nous leur offrons.

Dr PAUL REGNARD,
Directeur de l'Institut national
agronomique.

PRÉFACE DE LA TROISIÈME ÉDITION

La rapidité avec laquelle se sont épuisées les deux premières éditions de cet ouvrage montre que les questions qui touchent à l'assainissement des terres et à leur arrosage comptent parmi celles qui intéressent toujours le plus les agriculteurs. Nous sommes bien sûr qu'elles resteront placées au premier rang de leurs préoccupations. De ce côté, la technique fait chaque année des progrès, parallèlement à ceux que les sciences réalisent. Nous nous sommes efforcé de mettre notre ouvrage au courant des résultats auxquels ont abouti les recherches les plus récentes. Elles concernent surtout les relations qui s'établissent naturellement entre le sol et l'eau et que l'on a si longtemps négligées. Ce sont elles, cependant, qui forment comme la clef de voûte de l'art des arrosages.

Le 29 mars 1909, au moment où les éditeurs mettaient sous presse la 2^e édition de ce volume, nous signalions déjà au lecteur les importants travaux que commençaient alors notre éminent maître M. Muntz, avec MM. Faure et Lainé, sur les propriétés physiques des terres et l'irrigation. Ces études se sont poursuivies jusqu'en 1913. Et elles ont fourni des conclusions qui permettent de faire reposer sur des bases rationnelles l'irrigation : qu'il s'agisse, soit de tracer les grands canaux, soit de donner aux terres les quantités d'eau convenables. Le lecteur les trouvera résumées dans ce volume.

Jusqu'ici, en rédigeant les projets d'irrigation, on ne se préoccupait pas assez des propriétés physiques des terres qu'il s'agissait d'arroser. Il est arrivé que l'on a envoyé trop d'eau sur des terrains peu perméables, pas assez sur des terres qui, au contraire, se laissent facilement traverser. Et c'est ainsi que certains canaux tracés à grands frais n'ont pas donné les résultats qu'on en attendait. Avant de décider l'établissement d'un canal d'irrigation, de fixer son débit et les doses d'arrosages, il faut soigneusement étudier les propriétés physiques et en particulier la perméabilité des terres du périmètre arrosable. De semblables recherches font honneur aux savants qui les ont entreprises et à l'administration de l'Hydraulique et des Améliorations agricoles qui les a soutenues. Mais pour qu'elles donnent tous leurs fruits, il faudra les continuer en les étendant aux régions qui n'en ont pas encore bénéficié.

G. WERY.

Paris, 1^{er} juillet 1916.



IRRIGATIONS ET DRAINAGES

L'EAU DANS LES AMÉLIORATIONS AGRICOLES

INTRODUCTION

On a calculé que, dans les régions équatoriales, le soleil évapore chaque année une couche d'eau de 5 mètres d'épaisseur. Là-dessus, il en revient à la mer immédiatement une hauteur de 2 mètres, qui retombe en pluie sur la zone même de sa formation. Le reste est emporté par les courants atmosphériques et se condense, quand il rencontre les vents plus froids qui viennent du pôle vers l'équateur, libérant la chaleur qui l'avait réduite en vapeur et contribuant ainsi à rendre plus tempérées les régions où ces condensations se produisent. Autour des pôles et sur les montagnes les plus élevées, il se dépose des neiges et ailleurs des pluies qui se divisent en trois parties : les unes s'évaporent de nouveau, soit directement à la surface du sol, soit après avoir alimenté les plantes ; les autres s'infiltrent dans les terrains perméables, réservoirs naturels dont le débit plus ou moins régulier fournit les sources, et, enfin, les troisièmes ruissellent à la surface des rochers et des sols argileux, s'écoulent suivant les pentes et se rassemblent en rivières et en fleuves, qui retournent à la mer, après avoir arrosé des prairies et fourni des forces motrices à l'industrie ou des voies de transport au commerce, mais quelquefois, hélas ! après avoir dévasté les pays riverains par des inondations désastreuses.

La superficie de la France étant de 53 millions d'hectares et la hauteur de pluie annuelle de 750 millimètres en moyenne, on peut estimer à 400 000 000 000 de mètres cubes le volume des eaux de pluie qui y tombent par an. Comme les cours



d'eau en emmènent 180 000 000 000 de mètres cubes à la mer, l'évaporation peut être évaluée à 55 p. 100 de la pluie tombée. Mais ce chiffre représente la moyenne de chiffres qui sont beaucoup moins considérables sur les rochers et les pentes rapides des pays de montagnes et, par contre, plus élevés dans les plaines couvertes de bois ou de cultures. A Calèves, près de Genève, la moyenne de dix années d'observation a donné, sur un plateau faiblement incliné, drainé et bien cultivé, 74 p. 100, soit 696 millimètres d'eau évaporée pour 944 millimètres de pluie. Pendant les mois de juin, juillet, août et septembre, presque toute l'eau de pluie était évaporée. Ce sont les pluies de l'hiver et les neiges fondantes qui alimentent les rivières dans les terrains imperméables et les sources dans les terrains perméables.

Les condensations de vapeur d'eau sont plus abondantes sur les montagnes que dans les plaines et, sur les plus hautes, elles se font à l'état de neiges et de glaces. La chaleur qui les a portées à ces altitudes redevient disponible à l'état de force hydraulique, de *houille blanche*, suivant une expression qui est à la mode depuis quelque temps. De plus, la fusion des neiges se produit surtout en été, quand les autres sources donnent le moins d'eau et que l'on en a le plus besoin. Ainsi les glaciers qui couronnent les paysages des Alpes sont, comme les lacs qui s'étendent dans leurs vallées, des régulateurs naturels pour le débit des eaux. Les contrées les plus belles peuvent devenir les plus riches, si leurs habitants savent utiliser leurs ressources naturelles, comme les cultivateurs de la Lombardie l'ont fait pour la création de leurs magnifiques prairies.

Suivant la formule de Gasparin : chaleur $\times$ humidité = végétation ; plus ces deux éléments sont réunis en justes proportions, plus les produits de la terre sont abondants. La chaleur sans eau fait le désert ; l'humidité en excès crée le marais. Entre ces deux extrêmes, les deux facteurs, plus ou moins équilibrés, fournissent des richesses plus ou moins grandes. Le soleil est l'élément le plus régulier. Nous ne pouvons guère modifier la quantité de chaleur et de lumière qu'une certaine surface de terre reçoit pendant le cours d'une année. Cela dépend de sa situation géographique.



Mais les pluies sont distribuées avec moins de régularité : leur abondance varie beaucoup, non seulement avec les lieux, mais avec les années. Presque partout elles sont insuffisantes pour donner le maximum de végétation que permettrait la chaleur locale et, de plus, elles ne correspondent pas toujours avec les besoins des plantes. Nous ne pouvons pas faire tomber les pluies là où nous voulons ni quand nous le voulons ; mais nous pouvons retarder le ruissellement et augmenter l'infiltration de celles qui tombent sur les montagnes, en y conservant les forêts et en construisant des bassins de retenue dans les hautes vallées. Après avoir ainsi régularisé la descente des eaux, nous pouvons les employer à irriguer nos prairies et nos cultures dans les saisons où elles en ont le plus besoin.

M. Bechmann, ingénieur en chef et professeur à l'École des ponts et chaussées, estime que nos cours d'eau permettraient d'arroser environ un quart de la superficie totale de notre territoire, tandis que la statistique n'accuse que 2 360 000 hectares de prairies irriguées ; il cite, entre autres, d'après les relevés faits en 1892 par la direction de l'Hydraulique agricole, les canaux des Alpines, de Craponne, du Verdon, de Saint-Marty, etc., dont l'ensemble pourrait irriguer 255 000 hectares, et cependant il n'y a encore que 51 000 hectares effectivement arrosés. A quoi cela tient-il ? — Certes l'administration des ponts et chaussées a construit les grands canaux avec la perfection qu'elle met dans tout ce qu'elle fait, mais là s'est arrêtée son action dans la plupart des cas. Les eaux étaient amenées à la tête des terrains qu'elles devaient servir à arroser, mais elles restaient trop souvent sans emploi, parce que les propriétaires de ces terrains n'avaient ni les connaissances, ni les moyens nécessaires pour faire les canaux de distribution. Il a fallu que le décret du 27 janvier 1903 vienne, comme le dit le ministre de l'Agriculture dans son rapport au Président de la République, donner à la direction de l'Hydraulique, placée aujourd'hui sous l'intelligente direction de M. Dabat, une orientation plus nettement agricole et la compléter, en y créant, à côté du service hydraulique qui conserve ses anciennes fonctions, un nouveau service technique, celui des *Améliorations agricoles*. Ce nouveau service est chargé



de seconder l'initiative privée, non seulement pour les travaux d'irrigation et de drainage, mais aussi pour les échanges et réunions de parcelles sans lesquels ces travaux seraient souvent impossibles, et pour tous les perfectionnements qui pourront les suivre, tels que : tracés de nouveaux chemins d'exploitation, captages des sources, utilisation de chutes d'eau pour produire de la force, constructions rurales, etc.

L'Allemagne et l'Autriche ont, depuis une trentaine d'années, une organisation analogue, et elle y a donné de très beaux résultats. Dès l'origine de l'Institut agronomique, la Direction a envoyé un certain nombre des meilleurs élèves l'étudier ; leurs rapports, particulièrement ceux de M. Faure, ont beaucoup contribué à la faire connaître en France et à provoquer la création de ce service des Améliorations agricoles à notre ministère de l'Agriculture. Ces anciens élèves de notre École supérieure de l'Agriculture ont fourni le premier noyau du personnel du nouveau service qui comptait en 1914 deux inspecteurs généraux, dix ingénieurs et vingt-six ingénieurs adjoints. Déjà ils ont fait leurs preuves. Et nous sommes persuadés que l'application du décret du 27 janvier 1903 sera l'origine de progrès considérables dans l'utilisation de nos richesses hydrauliques.



PREMIÈRE PARTIE

L'EAU, LA PLANTE ET LE SOL

CHAPITRE I

RELATIONS ENTRE LA TERRE, L'EAU ET LA PLANTE AU POINT DE VUE CHIMIQUE.

I. — ROLE PHYSIOLOGIQUE DE L'EAU.

Sous l'influence du soleil et de l'eau, les matières minérales du sol s'unissent aux gaz de l'atmosphère pour nourrir les plantes.

Nous ne pouvons guère modifier la quantité de chaleur et de lumière, c'est-à-dire d'énergie solaire, qu'une certaine surface reçoit dans le cours d'une année. Cela dépend de sa situation géographique.

Mais nous pouvons accroître la valeur des récoltes que nous obtenons sur cette surface, en y détruisant les végétaux inutiles ou nuisibles et y semant ou y plantant ceux qui peuvent nous rendre le plus de services. Par les labours, nous pouvons ameublir plus ou moins profondément la surface du sol, l'ouvrir aux racines qui viennent s'y fixer et y puiser leur nourriture minérale et azotée, et si cette nourriture est insuffisante pour produire de belles récoltes, c'est-à-dire une abondante fixation de carbone, nous pouvons la compléter par les engrais.

Mais tout cela ne sert à rien, si les végétaux ne trouvent pas en même temps les 300 à 400 kilogrammes d'eau qui leur sont nécessaires pour former 1 kilogramme de matière sèche, c'est-à-dire de 1 500 000 à 3 000 000 de kilogrammes par hectare et



par an, soit 150 à 300 millimètres de hauteur d'eau de pluie.

Sans eau, le soleil est impuissant. Sans eau, les engrais ne peuvent pas être dissous et pénétrer dans les plantes. De tous les facteurs qui contribuent à nous donner des récoltes abondantes, c'est l'eau qui a le plus d'influence, et, si les pluies que reçoivent nos champs pendant la saison chaude sont insuffisantes pour alimenter nos récoltes, nous devons employer tous les moyens dont nous disposons pour mettre en réserve dans le sous-sol défoncé ou drainé une partie des eaux tombées pendant la saison froide, ou pour réunir sur nos prés par l'irrigation celles qui découlent des terres plus élevées.

Déjà, quand le cultivateur a semé son blé, il attend avec impatience la pluie qui doit le gonfler, y développer les premières racelles et rendre solubles les matières que ces racelles absorberont dans la terre.

Ce qui différencie principalement la tige et la racine des plantes, c'est que la tige reçoit la lumière du soleil, tandis que la racine se développe dans l'obscurité et dans l'humidité de la terre. On a réussi à faire végéter la plupart de nos plantes agricoles dans des vases en verre contenant des solutions nutritives à 3 ou 4 p. 1 000 ; mais, pour obtenir leur développement normal, il a fallu protéger leurs racines contre la lumière par des enveloppes de carton ou de papier noir. Si l'on ne prend pas cette précaution, le liquide ne tarde pas à se remplir de conferves dont la présence nuit aux plantes que l'on veut faire croître. Les racines de ces plantes s'allongent d'autant plus que la solution est moins concentrée. Il est, de plus, nécessaire de renouveler cette solution de temps en temps, ou, du moins, d'y injecter de l'air.

Dans ces milieux liquides, les racines prennent la forme normale qui caractérise leur espèce, fasciculée comme chez les céréales, pivotante comme chez les légumineuses, avec racines secondaires et tertiaires s'éloignant plus ou moins de la direction verticale et plus ou moins ramifiées.

Dans l'air humide, la pesanteur peut avoir sur la direction des racines l'influence que les expériences de laboratoire lui ont fait attribuer (*géotropisme*).

- Mais il n'en est pas de même dans la terre.



Pour y pénétrer et s'y allonger, les racines ont à vaincre des obstacles mécaniques plus ou moins considérables suivant la compacité du sol ; pour cela, il faut qu'elles *fassent coin* et que ce coin grossisse par le développement de nouvelles cellules autour de leur point végétatif. Elles prennent telle direction ou telle autre suivant qu'elles y trouvent les conditions les plus favorables à leur allongement et à leur grossissement, et, parmi ces conditions, celle dont l'influence paraît prédominer, c'est l'humidité. Mais, comme la présence et l'abondance de l'eau dans la terre varient en général suivant un plan horizontal ou du moins parallèle à sa surface, les racines qui vont vers elle par le chemin le plus court tendent à prendre la direction de la verticale ; ce n'est pas du *géotropisme*, c'est de l'*hydrotropisme*.

En même temps que l'eau, il faut que la racine trouve de l'air ; sans cela, elle ne s'allonge plus et tend au contraire à dépérir. Enfin il faut que cette eau contienne les aliments qui conviennent au développement des plantes.

L'allongement des racines paraît dépendre principalement de l'humidité, leur grossissement et la formation des racines secondaires ou tertiaires, de la quantité des substances nutritives qui leur arrivent. Les poils et les ramifications les plus fines des racines latérales se développent dans toutes les directions ; ils entrent dans les interstices qui séparent les particules de terre, se collent contre ces particules et pénètrent dans leurs pores. Les cellules de la zone de croissance augmentent de volume ; il s'en forme de nouvelles, et tout cet ensemble pousse la coiffe de la racine et la force à pénétrer, comme un coin, dans le sol.

Cette force varie dans les diverses plantes ; mais elle dépend toujours de la turgescence des cellules de la racine, turgescence qui leur est donnée par l'eau qu'elles absorbent autour d'elles.

1. — Consommation d'eau faite par les plantes.

La quantité d'eau qui est contenue dans les plantes varie suivant les espèces, mais elle est toujours considérable.



D'après Hellriegel :

		P. 100 de leur poids d'eau.
Les feuilles d'arbres	contiennent..	60
Les céréales	— ..	75
Les jeunes plantes	— ..	80
Les légumes frais	— ..	90
Les melons, asperges, salades	— ..	95

Les plantes fourragères, à l'état vert, peuvent contenir de 70 à 80 p. 100 de leur poids d'eau. Fanées, c'est-à-dire séchées à l'air, les plantes peuvent encore en renfermer de 14 à 16 p. 100.

Il ne s'agit là, évidemment, que de l'eau de constitution, abstraction faite de celle qui est contenue dans les racines.

Voici quelques chiffres qui se rapportent à de bonnes récoltes des principales plantes cultivées :

	Poids total de la récolte en kilos.	Quantité d'eau renfermée dans la récolte en kilos.
Pour 1 hectare.		
Blé d'hiver (récolte sèche).....	9 000	1 350
Seigle — —	9 000	1 352
Orge — —	6 600	1 020
Avoine — —	9 000	1 300
Pommes de terre.....	30 000	24 000
Topinambour.....	30 000	24 000
Betterave fourragère.....	50 000	52 800
— sucrière.....	50 000	41 000
Maïs vert.....	60 000	50 000
Luzerne.....	48 000	37 000
Trèfle.....	30 000	40 000
Ray-grass.....	32 000	17 000

On voit quelle proportion d'eau considérable contiennent les plantes fourragères récoltées à l'état vert. Eh bien, cette masse cependant si importante est peu de chose quand on la compare à la quantité d'eau qui a traversé la plante pendant sa végétation.

M. Risler en Suisse, Hellriegel et Wolny en Allemagne, Lawes et Gilbert en Angleterre, King en Amérique, Dehérain, Marié-Davy en France, et récemment M. Houllier (1908), se sont attachés à l'évaluer. Tous ont reconnu que la formation dans la plante de chaque gramme de matière sèche exige le passage d'un certain nombre de grammes d'eau, nombre

variable avec la plante, le sol, le climat et l'importance de la récolte, mais toujours considérable.

Hellriegel a poursuivi ses recherches à Dalme (Brandebourg, Prusse) de 1868 à 1873. Il a trouvé que pour élaborer 1 gramme de matière sèche :

Le blé d'été	demandait.....	338	grammes d'eau.
Le seigle d'été	—	353	—
L'avoine	—	376	—
Les fèves	—	283	—
Les pois	—	273	—
Le trèfle rouge	—	310	—
Le sarrasin	—	363	—
Le colza	—	329	—

M. Risler, à la suite de ses expériences de Calèves, près Nyon (Suisse), a trouvé de son côté que pour former 1 gramme de matière sèche :

L'avoine	demandait...	250	grammes d'eau.
Le trèfle	— ...	263	—
Le maïs	— ...	216	—
Le foin de prairies	— ...	438	—

Le tableau suivant donne, d'après M. Hall (1), directeur des

	POIDS de la récolte.	POIDS de la matière sèche.	EAU ÉVAPORÉE pendant la végétation par hectare.	
	Tonnes par hectare.	Tonnes par hectare.	Tonnes par hectare.	Correspon- dant à une hauteur de pluie tombée en millimètres.
Avoine	6,0	5,04	1 512	151
Betteraves.....	72,0	8,64	2 592	259
Blé.....	6,0	4,92	1 476	147
Fèves.....	5,0	3,98	1 195	119
Foin de graminées.	3,6	3,02	907	90
Foin de trèfles.....	5,0	4,03	1 209	120
Orge.....	5,0	3,98	1 195	119
Pommes de terre..	18,0	4,49	1 346	134
Rutabagas.....	40,8	4,90	1 469	146

(1) A.-D. HALL, Le sol, traduction française par A. DEMOLON, ingénieur agronome (Paris, J.-B. Baillière, 1906).

laboratoires de Rothamsted, les quantités d'eau évaporées qui correspondent à quelques bonnes récoltes. M. Hall suppose dans ses calculs que la formation de 1 gramme de matière sèche exige 300 grammes d'eau.

Dans les expériences qu'il a faites de 1867 à 1876 sur sa ferme de Calèves, près du lac de Genève, M. Risler a trouvé pour la transpiration moyenne par heure et par décimètre carré de surface foliaire (1) :

Pour la luzerne.....	0gr,46
— le chou.....	0gr,25
— le gazon.....	0gr,21
— le blé.....	0gr,175
— le maïs.....	0gr,16
— l'avoine.....	0gr,14
— la vigne.....	0gr,12
— la pomme de terre.....	0gr,09
— le chêne.....	0gr,06
— le sapin.....	0gr,052
— le noyer.....	0gr,04

Pour passer de là à la transpiration moyenne par hectare, il fallait déterminer la surface des feuilles qui couvrent chaque mètre carré de la surface du sol. M. Risler a fait un certain nombre de ces déterminations, dont voici les résultats :

	Surface d'évaporation.
Seigle, 2 mai, superbe récolte, au moment de l'épiage.....	8mq,24
Seigle, 2 mai, autre champ....	6mq,50
Blé, 30 mai, très beau, la floraison commence..	10mq,95
Avoine, 30 juillet, six feuilles, belle.....	9mq,41
Maïs, juillet, plantes distantes de 30 à 33 centimètres.....	8mq,00
Maïs, 12 septembre, semé très épais, pour fourrage vert.....	22mq,04
Pré, gazon, 31 mai.....	12mq,40
Luzerne, 4 juin, assez belle.....	7mq,03
Luzerne, 3 mai, 4 ^e année, haute de 35 centimètres.	12mq,42
Pommes de terre, 30 juillet.....	6mq,88
Chou branchu, septembre.....	8mq,00
Vigne chasselas, 24 août.....	4mq,94
Sapin de trente à quarante ans.....	11mq,75
Chêne, tronc de 1 ^m ,15 de circonférence à 1 mètre de hauteur.....	9mq,00

(1) Recherches sur l'évaporation du sol et des plantes, Genève, 1879.

Il faut remarquer toutefois que, dans un champ de blé, de maïs-fourrage et de trèfle très épais, comme dans une forêt touffue, les feuilles supérieures font ombre aux feuilles inférieures, et par conséquent diminuent leur évaporation, en sorte qu'il est peu probable que la surface réellement active du feuillage dépasse jamais 8 ou 10 mètres par mètre carré de terre.

En se servant des données qui précèdent et les corrigeant au moyen des observations faites sur ses cultures de Calèves, sur les quantités de pluie qu'elles avaient reçues et la proportion d'eau qui s'était écoulée par les drains, M. Risler est arrivé aux chiffres suivants pour la consommation moyenne par jour des récoltes exprimée en millimètres d'eau :

Luzerne.....	De 3mm,4 à 7mm,00
Prairies.....	3mm,14 à 7mm,28
Avoine.....	2mm,9 à 4mm,90
Fèves.....	Plus de 3mm,00
Maïs.....	2mm,8 à 4mm,00
Blé.....	2mm,67 à 2mm,80
Trèfle.....	2mm,86
Seigle.....	2mm,26
Vigne.....	0mm,86 à 1mm,3
Pommes de terre.....	0mm,74 à 1mm,4
Sapin.....	0mm,5 à 1mm,1
Chêne.....	0mm,45 à 0mm,3

Ces chiffres comprennent à la fois la *transpiration des plantes* et l'*évaporation directe de la terre dans laquelle elles sont cultivées*. Pour le blé, la luzerne, la vigne, etc., cette terre était en bon état de fumure.

A Munich, Wollny est arrivé aux chiffres suivants à la suite des expériences qu'il a faites en 1879 et 1880 avec ses lysimètres, caisses en zinc de 30 centimètres de hauteur et 400 centimètres carrés de surface, à fond percé de trous qui permettent de recueillir les eaux de drainage. En 1879, l'évaporation des lysimètres a été avec :

Les pois.....	De 3mm,7 par jour.
Les fèves.....	2mm,9 —
Les vesces.....	3mm,6 —
Le lupin blanc.....	2mm,2 —
Le lupin jaune.....	2mm,0 —
Le trèfle rouge.....	3mm,6 —

L'esparcette.....	De 3 ^{mm} ,4	par jour.
Le sarrasin.....	3 ^{mm} ,5	—
La moutarde.....	3 ^{mm} ,6	—
L'avoine hâtive.....	3 ^{mm} ,5	—
— tardive.....	3 ^{mm} ,4	—
L'orge.....	3 ^{mm} ,4	—
L'herbe des prairies.....	3 ^{mm} ,0	—

Il était tombé du 1^{er} mai au 1^{er} octobre 562^{mm},67 de pluie, soit en moyenne 3^{mm},67 par jour.

En 1880, il y a eu du 20 avril au 1^{er} octobre 706 millimètres de pluie, soit 4 millimètres par jour.

L'évaporation des lysimètres a été, avec :

Les pois.....	De 4 ^{mm} ,0	par jour.
Les fèves.....	3 ^{mm} ,0	—
Les vesces.....	4 ^{mm} ,4	—
L'avoine hâtive.....	3 ^{mm} ,6	—

Dans des expériences plus anciennes faites en Allemagne, Schübler avait trouvé 7^{mm},5 par jour pour l'évaporation d'un gazon et Schleiden 2^{mm},5 pour un mélange d'avoine et de trèfle, un peu plus que la hauteur de pluie tombée pendant la période de végétation.

M. P. Houllier poursuit depuis 1906 des recherches de cette nature à la Station hydrologique d'Abbeville. En décembre 1908, il a communiqué à l'Association des chimistes de sucrerie et de distillerie ses premières observations sur les quantités d'eau nécessaires au développement de la betterave fourragère.

Il opère dans des caisses de grandes dimensions (surface utile 0^mq,500), et se place dans des conditions qui se rapprochent de très près des conditions naturelles.

La période active de la végétation s'est étendue du 20 juin au 31 octobre. Il a trouvé que la quantité d'eau transpirée pour former 1 kilogramme de matière sèche avait été, en 1906, de 418 kilogrammes ; en 1907, de 430 kilogrammes, et en 1908, de 466 kilogrammes. De semblables recherches poursuivies dans les diverses régions de notre pays, pour nos principales récoltes, fourniraient des chiffres intéressants qui concourraient à l'établissement des bases rationnelles du drainage et de l'irrigation.

D'après Dehérain, Lawes et Gilbert, Hellriegel, la quantité

d'eau transpirée pour produire un certain poids de matière sèche est d'autant moins grande que les engrais sont plus complets et plus abondants; mais, si la quantité relative d'eau transpirée diminue, Hellriegel a montré que sa quantité absolue, c'est-à-dire le poids d'eau transpirée par mètre carré de terre, augmente, quoique dans une proportion moins considérable que la récolte.

Évidemment la récolte produite par 1 hectare ne peut pas augmenter sans qu'il y ait plus d'eau transpirée par cette récolte; mais l'accroissement de la consommation d'eau est proportionnellement moins grand dans une terre riche que dans une terre pauvre.

La lumière et la chaleur agissent dans le même sens. On sait que les agents de la transpiration des plantes vertes sont la chaleur, entre certaines limites, et les radiations lumineuses, celles qui sont comprises dans le spectre entre l'orangé et le commencement du violet. La chlorophylle les absorbe et les transforme en énergie calorifique. Le défaut de lumière, comme le défaut de chaleur, toutes autres choses égales d'ailleurs, augmentent la quantité d'eau transpirée nécessaire pour produire 1 kilogramme de matière sèche. Le degré d'humidité de l'air influe sur la transpiration des plantes. Hellriegel a trouvé qu'elle pourrait devenir deux fois plus forte dans l'air sec que dans l'air normal. Le mouvement de l'air l'impressionne aussi.

Les chiffres que nous avons donnés pour les quantités d'eau nécessaires à l'élaboration de la matière sèche n'envisagent que la *récolte aérienne*, feuilles et tiges, sauf en ce qui concerne les plantes à tubercules.

Il serait intéressant de mesurer la quantité d'eau uniquement transpirée par la plante, *défalcation faite de l'eau évaporée par le sol*. C'est difficile. Les parcelles témoins qu'on laisse en jachère, pour chercher à établir la part du sol, évaporent plus que les parcelles cultivées, parce que celles-ci sont de plus en plus ombragées à mesure que le végétal croît. Cependant Hellriegel a tenu compte de l'évaporation du sol dans les chiffres que nous avons reproduits. Il s'est bien servi de parcelles témoins laissées incultes. Mais il a obtenu des résultats

moins incertains en recouvrant de plaques de bois, préalablement immergées dans un mélange de cire et de paraffine fraîche, la surface du sol de ses vases d'expériences.

Il faudrait aussi pouvoir maintenir toujours au même degré de richesse les solutions qui imbibent la terre, puisque leur concentration agit sur l'évaporation. Or elles diffèrent souvent dès l'origine de l'expérience, et, à mesure que celle-ci se poursuit, la richesse de la solution contenue dans le sol cultivé diminue plus vite que celle qui humecte le sol inculte.

D'ailleurs, ici, c'est le chiffre global qui nous intéresse surtout, puisque nous ne pouvons pas nous passer du sol, ni, la plupart du temps, l'empêcher d'évaporer.

2. — Comparaison entre le régime des pluies et les besoins des principales récoltes.

Comparons maintenant les besoins des plantes avec les quantités d'eau que leur apportent les pluies.

Nous empruntons les moyennes annuelles et mensuelles de pluie tombées en France de 1841 à 1860 à un mémoire de M. Angot, professeur à l'Institut agronomique (1).

Ces chiffres sont des moyennes. Mais la quantité de pluie que reçoit un même champ varie souvent, d'une année à l'autre, dans de très larges limites, quelquefois du simple au décuple pour les mois correspondants de deux années qui se suivent. De là proviennent en grande partie les différences que les récoltes présentent dans un même champ d'une année à l'autre, et ces différences seraient encore plus considérables s'il n'y avait pas dans le sous-sol de ces champs un réservoir d'humidité, une sorte de régulateur qui absorbe l'excès d'eau tombée dans certains mois et le cède aux récoltes pendant les mois trop pauvres en pluie qui sont précisément ceux où elles se développent. *Plus ce réservoir a de volume, c'est-à-dire plus la terre a été ameublie profondément, soit par les défoncements, soit par le drainage, plus cette assurance naturelle contre la sécheresse est efficace.*

Ce tableau montre que, en bien des localités, il tombe moins

(1) *Annales du Bureau central météorologique de France*, 1894.



Alt.		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Tot.
m.														mm.
188	Albi (Tarn).....	49	43	57	71	68	73	50	48	62	65	53	40	692
25	Arles (Bouches-du-Rhône).....	44	43	40	57	45	42	17	35	59	79	57	51	569
183	Avesnes (Nord).....	65	53	60	46	63	69	89	73	90	79	79	76	821
555	Bagnères-de-Bigorre (H.-P.).....	93	93	120	130	122	128	63	69	83	107	113	81	1202
100	Barbery (Troyes) (Aube).....	38	34	41	37	56	60	63	60	54	58	54	48	603
186	Bar-le-Duc (Meuse).....	72	65	73	60	65	89	91	81	77	96	99	92	960
15	Bayonne (Basses-Pyrénées).....	90	76	96	95	75	82	60	69	114	141	146	106	1150
253	Besançon (Doubs).....	79	66	86	89	99	112	93	89	87	117	104	87	1108
10	Bordeaux (Gironde).....	71	58	64	67	74	81	51	55	66	94	93	74	848
56	Brest (Finistère).....	84	75	57	34	49	51	53	54	78	91	96	82	824
415	Brionde (Haute-Loire).....	20	25	29	51	72	79	65	61	69	69	41	28	600
123	Cahors (Lot).....	53	48	60	72	71	69	52	51	69	75	61	52	733
117	Carcassonne (Aude).....	52	51	58	75	60	58	26	31	59	58	48	48	624
8	Châteaulin (Finistère).....	104	90	79	70	64	64	71	67	92	111	117	119	1044
225	Châtillon-s.-Seine (Côte-d'Or).....	50	49	58	53	66	79	71	73	68	84	71	64	786
20	Cherbourg (Manche).....	78	63	58	43	49	44	54	56	81	116	107	87	836
378	Clermont-Ferrand (P.-de-L.).....	28	29	34	42	60	71	37	50	57	57	3	32	555
138	Confolens (Charente).....	72	66	71	73	84	76	58	59	74	102	100	79	914
350	Contrexéville (Vosges).....	52	50	66	58	71	81	93	67	68	88	82	72	848
237	Dijon (Côte-d'Or).....	40	35	46	52	59	71	62	62	55	77	63	49	671
551	Florac (Lozère).....	77	89	91	79	92	70	51	64	96	113	81	98	1001
408	Genève (Suisse).....	42	41	54	61	79	81	78	91	86	107	74	54	848
328	Gréasque (Bouch.-du-Rh.).....	54	45	63	59	57	41	17	31	63	104	97	65	696
218	Grenoble (Isère).....	52	59	68	67	86	96	72	88	76	123	83	68	938
920	Langogne (Lozère).....	47	49	60	70	77	69	30	62	51	89	72	63	759
78	Le Mans (Sarthe).....	55	41	48	51	59	64	57	55	56	68	65	59	678
160	Lescar (Basses-Pyrénées).....	82	73	77	120	114	114	58	58	81	94	98	74	1043
596	Les Settons (Morvan).....	146	132	149	120	109	126	129	134	128	188	182	179	1722
26	Lille (Nord).....	54	46	56	42	57	58	70	64	64	77	72	63	723
218	Limoges (Haute-Vienne).....	69	59	73	74	90	82	70	71	73	96	88	72	917
260	Lyon (Rhône).....	34	36	54	67	83	85	87	83	75	96	65	49	814
74	Marseille (Bouch.-du-Rh.).....	49	35	46	52	40	26	13	25	61	88	76	56	567
722	Mende (Lozère).....	46	44	52	61	74	69	62	63	77	82	58	50	738
311	Mirepoix (Ariège).....	57	54	58	89	73	76	44	44	55	61	63	50	724
29	Montpellier (Hérault).....	88	64	61	64	58	37	23	53	70	115	78	74	785
668	Montagny (Loire).....	47	50	66	82	96	106	105	98	78	105	72	67	972
215	Moulins (Allier).....	36	34	43	51	56	75	62	61	59	62	48	39	626
924	Murat (Tarn).....	53	44	55	56	76	78	62	73	84	99	72	64	816
221	Nancy (Meurthe-et-Mos.).....	52	50	57	51	60	75	85	63	63	80	77	69	782
13	Narbonne (Aude).....	47	35	44	47	34	32	17	25	41	84	36	42	484
186	Nevers (Nièvre).....	44	44	53	50	62	72	62	60	63	67	62	52	691
57	Nîmes (Gard).....	49	48	44	58	55	47	27	48	69	83	65	52	645
100	Orléans (Loiret).....	47	41	51	46	54	59	59	57	55	68	59	50	646
56	Paris (Seine).....	36	28	37	39	47	53	57	47	48	54	48	40	527
37	Perpignan (Pyr.-Orient).....	47	42	49	50	49	35	22	23	45	66	35	38	501
117	Poitiers (Vie. ne).....	52	40	55	33	65	70	49	47	55	74	66	53	679
9	Rochefort (Char.-Infer.).....	57	40	47	47	51	55	40	45	61	98	92	69	702
49	Rouen (Seine-Inférieure).....	55	43	52	45	53	58	68	63	64	70	68	65	704
545	Saint-Etienne (Loire).....	22	30	47	66	88	87	81	71	57	82	80	75	668
8	Saint-Nazaire (Loire-Inf.).....	64	47	50	43	44	46	39	41	57	82	80	75	668
18	Saint-Servan (Ille-et-Vil.).....	69	54	59	56	58	64	62	58	74	96	93	82	825
89	Sannoie (Le Havre) (S.-I.).....	76	52	58	51	58	57	66	72	87	107	93	77	854
	Saulieu (Côte-d'Or).....	52	52	71	63	69	89	82	76	72	96	88	76	893
412	Tarare (Rhône).....	42	46	61	69	80	77	80	69	67	94	68	54	807
18	Toulon (Var).....	72	56	65	64	41	29	8	33	63	100	106	71	708
194	Toulouse (Haute-Garonne).....	46	43	50	71	71	78	43	49	58	66	49	42	666
54	Tours (Indre-et-Loire).....	49	44	50	46	56	60	55	44	44	63	58	53	622
36	Venette (Compiègne) (Oise).....	38	30	34	37	47	54	63	51	57	54	48	39	552
64	Villeneuve-sur-Lot (L.-et-G.).....	39	39	46	54	62	63	45	42	58	55	56	42	601

d'eau pendant la période active de la végétation que durant le reste de l'année. Cette constatation prouve l'utilité d'un sol en tant que réservoir d'eau pour les plantes.

Les zones de végétation des différentes plantes dépendent principalement de la température et de la lumière qu'elles trouvent dans ces zones. Il leur faut, pour arriver à fleurir et à fructifier, une certaine somme de température entre des limites extrêmes de froid et de chaud. Mais elles ne peuvent arriver à un développement assez grand pour que leur culture soit profitable, et quelquefois même elles périssent, si elles ne peuvent pas absorber assez d'eau pendant cette période de végétation. Il faut donc que des pluies suffisantes pour leur fournir l'eau dont elles ont besoin tombent pendant cette période de végétation, ou que la terre puisse leur fournir un supplément provenant des pluies antérieures absorbées par elle. Par exemple, le *blé* ne pousse que lorsque la température moyenne s'élève au-dessus de 6° pendant plusieurs jours consécutifs. Or, d'après M. Angot, les moyennes mensuelles de la température ont été, pendant les années 1851 et 1897 (1), celles indiquées dans le tableau ci-contre.

Ainsi, dans tout le nord de la France jusqu'aux environs de Paris et sur tous les points les plus élevés du centre, le blé ne pousse que très peu et très rarement et, par conséquent, transpire aussi très peu pendant les cinq mois de novembre, décembre, janvier, février et mars, et, comme la moisson a lieu à partir de juillet, c'est pendant les mois d'avril, mai et juin qu'il consomme le plus d'eau ; c'est alors qu'il lui en faut 2 millimètres à 2^{mm},7 par jour en moyenne ou 60 à 80 millimètres par mois (2).

(1) Études sur le climat de la France, 1899 (*Bureau central météorologique*).

(2) M. Ringelmann, utilisant les chiffres que M. Garola a donnés pour les poids de matière sèche produits par différentes plantes (blés, seigle, maïs, betteraves à sucre, sarrasin, millet) aux différentes périodes de la végétation, a tracé des graphiques qui représentent nettement que les récoltes absorbent surtout de l'eau pendant la période active de leur croissance, c'est-à-dire en été, à une époque où la nappe souterraine n'est plus alimentée par les pluies, même dans les terrains incultes (*Journal d'agriculture pratique*, 10 août et 16 octobre 1905).



Moyennes mensuelles de la température de 1851 à 1897.

	JANVIER.	FÉVRIER.	MARS.	AVRIL.	MAI.	JUIN.	JULIET.	AOUT.	SEPTEMBRE.	OCTOBRE.	NOVEMBRE.	DÉCEMBRE.	ANNÉE.
Larentise, près Lille.....	2,01	3,34	5,42	9,10	12,43	15,82	17,53	17,27	14,83	10,24	5,61	2,64	9,69
Saint-Maur, près Paris.....	2,45	3,55	5,99	9,94	13,06	16,51	18,26	17,57	14,68	9,99	5,71	2,68	10,01
Vendôme.....	2,90	4,55	7,11	10,99	13,92	17,39	19,32	18,69	15,99	11,30	6,64	3,41	11,02
Strasbourg.....	-0,15	4,71	4,76	9,67	13,63	17,25	18,69	17,77	14,39	9,38	4,24	0,74	9,34
Genève.....	-0,04	4,74	4,80	9,18	12,98	16,74	19,00	18,15	14,85	9,73	4,70	0,74	9,38
Bourg.....	+1,40	3,29	6,29	10,67	14,07	17,92	20,08	19,31	16,24	11,20	5,76	4,76	10,67
Marseille.....	6,88	7,92	9,68	13,00	16,30	19,92	22,43	21,97	19,36	15,06	10,41	7,23	14,18
Montpellier.....	5,36	6,96	9,28	12,84	16,39	20,09	22,95	22,32	19,01	14,29	9,39	5,95	13,74
Perpignan.....	6,84	8,19	10,26	13,27	16,42	20,10	22,87	22,41	19,50	14,93	10,48	7,44	14,39



Or, ces conditions ne se trouvent pas remplies, comme on peut le voir dans le tableau du régime des pluies, aux environs de Lille, de Rouen et de Paris.

Par exemple, dans la Brie, les pluies ne donnent en moyenne, pendant les mois d'avril, mai et juin, que 1 millimètre à 1^{mm},5 d'eau par jour. Le blé a besoin d'un supplément d'environ 1 millimètre par jour, soit 91 millimètres pour les trois mois. Pour les trouver, *il faut qu'il ait recours à l'humidité que la terre a emmagasinée dans ses profondeurs pendant l'hiver et le premier printemps*. Si cette terre est capable d'en retenir 25 p. 100 et si le blé ne souffre de la sécheresse qu'à la limite de 10 p. 100, il peut en consommer environ 15 p. 100. Or, pour une terre pesant 1 400 kilogrammes par mètre cube, 15 p. 100 dans une épaisseur de :

30 centimètres	représentent	63 millimètres	de hauteur d'eau.
40	—	84	—
50	—	105	—

Il est donc nécessaire que les racines du blé trouvent un sol assez aéré pour qu'elles puissent y descendre jusqu'à plus de 40 centimètres de profondeur. Il en est ainsi dans les limons fertiles qui couvrent les plateaux de la Picardie, etc. Souvent ce limon a plusieurs mètres d'épaisseur, et c'est grâce à ses propriétés physiques si favorables à la production du blé que l'on peut y obtenir des récoltes de plus de 40 hectolitres à l'hectare.

Quand ce limon repose sur la craie ou sur le calcaire grossier, ses propriétés s'accroissent encore plus dans le sens de la perméabilité, perméabilité pour l'air qui est toujours corrélative de la perméabilité pour l'eau ; l'une suit l'autre. Si le limon n'a pas assez d'épaisseur pour conserver assez d'humidité jusqu'à la maturation des variétés tardives, il est prudent de ne cultiver que des blés précoces. Dans une grande partie de la France, les céréales et à plus forte raison les fourrages consomment toutes les eaux de pluie qui tombent directement sur eux pendant la saison la plus active de leur végétation. Ils en reçoivent rarement trop, mais souvent ils n'en ont pas assez.

Mais s'il y a, comme dans la Brie et le pays de Caux, de l'argile au-dessous du limon, et, surtout, si ce limon n'est pas

très épais, les racines des céréales ne peuvent pas y pénétrer à une grande profondeur, soit parce que la compacité du sous-sol leur oppose un obstacle insurmontable, soit parce que ce sous-sol n'est pas assez aéré ; il faut le leur ouvrir au moyen des défoncements et du drainage et, en l'ouvrant aux racines et à l'air, on l'ouvre en même temps aux eaux de pluie, qui peuvent y descendre et y former des réserves pour les temps de sécheresse, au lieu de s'écouler inutiles vers les ruisseaux et les rivières, ou de faire du mal en restant stagnantes à la surface. Ce sont les pluies de l'automne et de l'hiver qui sont nuisibles dans les terres argileuses à sous-sol imperméable. Non seulement il est difficile d'y faire les labours et semailles en temps convenable, mais les blés y sont exposés à souffrir dans les endroits où les eaux restent stagnantes, ou à être déchaussés quand il survient des alternatives de gels et de dégels. Autrefois on cherchait à diminuer ces dégâts en faisant des billons et des fossés à ciel ouvert, dans lesquels venaient aboutir les *dérayures* et les sillons d'égouttement. Le meilleur de la terre et des engrais était entraîné dans ces fossés et allait se perdre au loin ; les terres mal ameublies, mal aérées et, par conséquent, mal nitrifiées, ou plutôt dénitrifiées, ne laissaient pas descendre les racines à des profondeurs suffisantes pour qu'elles puissent résister aux sécheresses du printemps et de l'été. L'eau elle-même, s'écoulant ou s'évaporant à la surface, ne se conservait pas dans le sous-sol, et les récoltes souffraient de la sécheresse dès que les pluies cessaient de tomber. Mais aujourd'hui, en ameublissant ces terrains compacts, en ouvrant leur sous-sol au passage de l'air, de l'eau et en même temps à la pénétration des racines, on y diminue à la fois les excès de l'humidité pendant l'hiver et les excès de la sécheresse pendant la période où la végétation a le plus besoin d'eau. *On peut faire cela jusqu'à un certain point par les labours profonds et les défoncements, mais on le fait mieux encore, et d'une manière plus durable, par le drainage. En augmentant l'épaisseur de la couche meuble et active du sol, le drainage régularise l'approvisionnement des plantes en eau.*

C'est l'eau stagnante qui est nuisible dans le sol ; mais il en est tout autrement pour l'eau en mouvement, pour celle qui



ne fait que passer et traverser la couche supérieure du terrain. Cette eau entraîne avec elle les produits de l'oxydation des matières organiques renfermées dans le sol et y attire à sa suite une nouvelle provision d'oxygène ; elle aère le sol, et le résultat le plus important du drainage régulier des terres auparavant imperméables est d'y porter la couche d'oxydation à une profondeur plus grande, celle où les tuyaux sont placés. Le drainage, agissant comme les trompes que l'on emploie dans nos laboratoires, tend constamment à faire le vide au-dessus de lui, et il en résulte en même temps une force mécanique qui, entraînant une certaine quantité de parties fines, sable et argile, augmente de plus en plus les interstices par lesquels l'eau et à sa suite l'air peuvent pénétrer dans le sous-sol. De cette eau, la terre argileuse en retient 25 à 35 p. 100, et le reste, facilement pénétré par les racines des plantes, contient alors assez d'oxygène pour en fournir à ces racines et en même temps pour nitrifier les substances organiques qui doivent leur servir d'aliments. Les labours profonds faits à la suite du drainage en complètent l'action, mais, sans drainage, l'influence des labours profonds est beaucoup moins grande et moins durable : ils ne pénètrent ordinairement qu'à 40, rarement à plus de 50 centimètres de profondeur ; ils favorisent l'accès de l'eau jusqu'à cette profondeur, mais là cette eau reste stagnante et, ne pouvant chasser par en bas l'air chargé d'acide carbonique qu'elle remplace, elle le refoule par en haut et empêche ainsi l'arrivée d'un air plus pur.

L'*avoine* consomme relativement plus d'eau que le blé, environ 250 kilogrammes pour faire 1 kilogramme de matière sèche ; le *maïs* seulement 216. Comme chaleur et lumière, la zone de culture du maïs coïncide à peu près avec celle de la vigne, mais celle-ci a besoin d'une plus grande quantité d'eau.

A Calèves, la *vigne* (à raison de 12 à 13 000 ceps par hectare) évapore dans les beaux jours de juillet environ 1 kilogramme d'eau par cep, soit 1^{mm},2 à 1^{mm},3 par hectare. Pour faire de la fécule, du sucre ou de l'alcool, les pays à climat tempéré ont la pomme de terre et la betterave : la première se contente de 0^{mm},75 à 1^{mm},5 d'eau en moyenne et de terres légères ; la seconde a besoin de plus d'eau, surtout pendant les mois



de juillet, août, septembre, et, sur les plateaux des environs de Paris, elle souffrirait de la sécheresse si ses racines ne pouvaient pas trouver une réserve d'humidité dans les couches profondes du limon.

Parmi les légumineuses qui servent de fourrages, l'*esparcette* est celle qui exige le moins d'eau.

Le *trèfle* en demande près de 3 millimètres par jour pour préparer sa première coupe, et la seconde dépend complètement de la quantité qu'il reçoit pendant l'été.

La transpiration de la *luzerne* est encore plus abondante que celle du trèfle ; elle atteint au moins 3^{mm},4 par jour, et les pluies de printemps ou d'été qui tombent habituellement dans notre climat sont loin de ce chiffre. Il faut donc que la luzerne ait recours à l'humidité que la terre a emmagasinée pendant l'hiver, et c'est pour cela qu'elle aime les terres à la fois profondes et fraîches qui servent en quelque sorte de réservoir pour les masses considérables d'eau dont elle a besoin. Si ces terres peuvent en retenir 25 p. 100 en poids, la luzerne peut en consommer 15 p. 100 sans arriver à la limite où elle trouve le sol trop sec. Or, pour une couche de 60 centimètres de profondeur, 15 p. 100 font 126 millimètres d'eau, qui, tirés de la terre dans l'espace de deux mois, équivalent à une pluie de 2 millimètres en moyenne par jour. En l'ajoutant à la pluie qui tombe réellement pendant les mois d'avril, mai et juin, par exemple, pour les environs de Paris, à 1^{mm},55, on arrive à une moyenne de 3^{mm},55 d'eau par jour qui peut suffire à la consommation de la première coupe d'une luzernière. Mais, pour alimenter la seconde et la troisième coupe, il faut qu'elle aille puiser, grâce à ses longues racines, à des profondeurs de plus en plus grandes que 60 centimètres. Cela est possible dans les limons qui ont plus de 1 mètre d'épaisseur et qui reposent sur des terrains perméables comme le calcaire grossier ou la craie. Quand il y a de l'argile au-dessous du limon et que le drainage y a été fait à 1 mètre comme dans la Brie, les racines de la luzerne descendent jusqu'au niveau des drains. Dans le sud de la France, on arrive à obtenir jusqu'à quatre ou cinq coupes de luzerne par an, soit 12 000 à 15 000 kilogrammes par hectare de fourrage sec ; mais pour cela il faut l'arroser.



Avec beaucoup de soleil et beaucoup d'eau, elle devient réellement la *merveille du mesnage*, comme l'a dit Olivier de Serres.

Le chiffre de 7 millimètres par jour que Schübler, Marié-Davy et M. Risler ont trouvé pour l'évaporation des *prairies naturelles* suppose également que ces prairies sont abondamment pourvues d'eau dans la saison la plus chaude de l'année, c'est-à-dire irriguées. Ce chiffre n'est pas loin de celui de 1 litre par seconde et par hectare (8^{mm},6 par jour) que l'on emploie pour l'irrigation dans le Midi.

Dans son mémoire sur l'emploi des eaux dans les irrigations, Hervé-Mangon cite une prairie de l'Isle (département de Vaucluse) où il a jaugé 11,126 par seconde et par hectare. Les eaux de pluie qui tombent directement sur 1 hectare de prairie n'atteignent nulle part en France des moyennes approchant de 7 millimètres. Le tableau de la page 23 ne donne 4 millimètres pour la moyenne d'avril, mai et juin qu'aux Settons, dans le Morvan. Il tombe plus de 3 millimètres à Baguères-de-Bigorre et à Bazançon. Mais à Grenoble, Genève, Lyon, Limoges, il n'y en a qu'environ 2^{mm},5 ; à Nancy, Lille, Rouen, environ 2 et à Paris 1,55. Or, avec une moyenne de 1^{mm},5 et 2^{mm},5 de pluie par jour pendant les mois où la croissance de l'herbe doit se faire, il est impossible d'obtenir des foin abondants. *Il faut qu'outre l'eau des pluies qui tombent directement sur elles les prairies puissent profiter de celles qui sont tombées sur des terrains situés en amont et qui leur sont amenées soit par des sources, si ces terrains sont perméables; soit par les cours d'eau qui s'y sont formés, s'ils sont imperméables.* C'est une irrigation naturelle qui résulte de la nature des terrains qui sont échelonnés sur les pentes des montagnes et des vallées, et nos travaux d'irrigation ne font qu'imiter et compléter cette irrigation naturelle, en accumulant sur une même surface les apports d'eau que la pluie a faits plus haut sur des terrains inclinés ou perméables. Tantôt ce sont les filets d'eau infiltrés dans les fentes du granit que le métayer du Limousin réunit dans des *pêcheries* pour arroser des prairies établies dans le fond des vallons ; tantôt, ce sont les pluies tombées sur les plateaux crevassés des calcaires jurassiques



qu'ivont se perdre dans les *Avens* et qui reparaissent plus bas à la surface des marnes du lias ou de l'oxfordien et servent à y arroser les prairies et à abreuver le bétail nourri sur les herbages. Nous en citerons de nombreux exemples dans le chapitre consacré au régime des eaux dans les diverses formations géologiques.

Partout il est bon de faire des prairies permanentes dans les parties basses des terrains que l'on exploite. On augmente ainsi les apports d'eau que ces terrains reçoivent directement de la pluie en y faisant arriver l'excédent de celle qui est tombée sur les hauteurs, et, en même temps, on les enrichit au moyen des matières fertilisantes, et surtout des nitrates, que cette eau a enlevés dans les champs.

3. — Comment donner aux plantes les quantités d'eau dont elles ont besoin.

L'étude à laquelle nous venons de nous livrer montre que pour donner une base rationnelle aux principes de drainage et d'irrigation et pour apprécier l'utilité de ces améliorations, il faut :

1° *Comparer les quantités d'eau dont nos récoltes ont besoin avec celles que leur apportent les pluies tombées directement sur les champs où elles sont cultivées ;*

2° *Etudier les terres au point de vue de leur perméabilité, de leur pouvoir d'absorption pour l'eau et de la profondeur de la couche cultivée.*

En effet, la période active de la végétation ne dure que quelques mois. Et, quelle que soit la quantité d'eau qui tombe dans l'année, celle qui arrive aux plantes durant le court espace de leur croissance ne serait pas suffisante. Il faut qu'elle trouve des réserves dans le sol, réserves qui dépendent de ses propriétés physiques et de sa profondeur.

Les quantités d'eau offertes aux végétaux sont-elles insuffisantes?

Il faudra, lorsque ce sera possible, amener sur les champs ou les prés, par l'irrigation, les eaux tombées en amont sur des surfaces plus élevées et d'une étendue plus considérable, soit que l'on utilise le débit des rivières ou celui des sources.

Et si ces secours manquent, faute de mieux, on donnera avec d'autant plus de soins à la terre les façons culturales



qui l'ouvrent aux pluies et la rendent capable d'en conserver le produit. On l'approfondira pour augmenter la puissance du réservoir dans lequel puisent les racines.

Enfin, on la drainera. Car, nous le verrons, le drainage est un puissant moyen d'augmenter la provision d'eau utile que la terre renferme et de la conserver.

II. — INFLUENCE DES CULTURES SUR LE DÉBIT DES SOURCES ET DES COURS D'EAU.

L'examen des quantités considérables d'eau absorbées par les récoltes a conduit M. P. Houllier, conducteur des ponts et chaussées, à émettre des idées intéressantes sur la corrélation qu'il y a entre la diminution du débit des cours d'eau, l'accroissement des surfaces cultivées et les perfectionnements des méthodes de culture. Ses observations ont porté sur le bassin de la Somme et ses affluents jusqu'à Abbeville inclusive-ment. La superficie correspondante est de 590 000 hectares et la hauteur des pluies de 0^{mm},63 par an. Le volume des eaux tombées s'élevait donc à 118 mètres cubes par seconde en moyenne. Il y a cent ans, la rivière écoulait annuellement 35 mètres cubes par seconde ; aujourd'hui elle ne donne plus que 27 mètres cubes, soit une diminution de 8 mètres cubes.

Or, il y a une centaine d'années :

1^o Il y avait 170 000 hectares de jachères de plus qu'aujourd'hui, qui laissaient écouler un excédent annuel d'eau de $170\,000 \times 0,085 = 4^{\text{me}},600$ en moyenne par seconde, si l'on adopte les chiffres de M. Dehérain sur les quantités d'eau fournies par jachères ;

2^o Le sol produisait alors à l'hectare 1 000 kilogrammes de moins de matières sèches, soit $310\,000 \times 1\,000 \times 250 = 2^{\text{me}},5$ d'eau par seconde de plus que la quantité qui correspond aujourd'hui à l'égout des 310 000 hectares emblavés il y a cent ans. M. Houllier admet qu'il suffit de 250 kilogrammes d'eau pour amener la formation de 1 kilogramme de matière sèche.

Les autres conditions : évaporation directe, ruissellement, climatologie, étaient sensiblement les mêmes.



Donc, la suppression des jachères et l'amélioration des cultures auraient eomme conséquence une augmentation de la consommation de l'eau qui, répartie sur toute l'année, équivaldrait à $4^{\text{me}},6 + 2^{\text{me}},5 = 7^{\text{me}},100$ par seconde, chiffre tout voisin des 8 mètres cubes par seconde constatés en moins aujourd'hui dans le débit de la Somme.

Et M. Houllier prévoit qu'à l'avenir le débit des sources émergeant des bassins eultivés subira de nouvelles diminutions, qu'en particulier *nombre de sources permanentes deviendront périodiques* (*Comptes rendus de l'Acad. des sc.*, 6 févr. 1905).

III. — PHÉNOMÈNES CHIMIQUES QUI ACCOMPAGNENT LA CIRCULATION DE L'EAU DANS LE SOL.

Nous venons de montrer le rôle considérable que l'eau joue dans l'alimentation, dans le développement de la plante. C'est l'histoire de l'eau physiologique. Elle en a une autre encore, dont les multiples chapitres ne sont pas moins intéressants. Nous voulons parler des phénomènes dont dépendent sa présence et sa circulation dans le sol.

En tombant sous forme de pluie, ou de neige, en se précipitant à l'état de rosée, l'eau apporte au sol des éléments dont nous connaissons l'importance pour la végétation : de l'oxygène ; de l'acide carbonique ; de l'azote combiné ; ammoniacque ou acide nitrique. Nous en indiquerons plus tard les proportions. Lorsque, après avoir rempli les interstices qui séparent les molécules terreuses, elle s'écoule dans le sous-sol, ou que, suivant les pentes des couches imperméables, elle va sourdre au loin, elle amène de l'air, pour la remplacer, dans les couches qu'elle a traversées et qu'elle abandonne. Ainsi la pluie, après avoir fourni elle-même de l'oxygène au sol, par son mouvement dans les couches profondes, amène une aération d'autant plus énergique que sa masse est plus forte et sa descente plus rapide.

La propriété qu'elle possède d'augmenter de volume en se congelant en fait l'auxiliaire du laboureur. La terre qui a été travaillée avant l'hiver se reconnaît vite au printemps. Les alternatives de gels et de dégels l'ont comme réduite en poussière. Mais, bien plus, c'est en partie grâce à elle que la terre s'est formée à l'origine et qu'elle continue à se former en certains endroits. L'eau, par ces alternatives mêmes de gels et de dégels, désagrège les roches plus ou moins poreuses où elle s'infiltre.

Entraînés par les torrents ou les cours d'eau, les minéraux frottés les uns contre les autres s'effritent en limon impalpable. Aidés de l'eau, l'acide carbonique et l'oxygène de l'air s'attaquent à la plupart des roches et les réduisent en terres fines. Les roches silicatées perdent leurs bases : potasse, soude, chaux, magnésie, et donnent des carbonates qui

sont éliminés par les eaux. Le silicate d'alumine qu'elles renferment demeure intact et, en s'hydratant, forme l'argile. Quant à l'oxyde de fer, il reste avec l'alumine.

Le granit subit la même altération. Les schistes se détruisent et se délitent avec beaucoup de facilité. Les pierres calcaires en présence de l'acide carbonique se dissolvent lentement dans l'eau.

L'eau exerce donc une action directe très importante sur la formation de la terre arable, soit qu'elle agisse mécaniquement lorsqu'elle est transformée en glace par le froid et qu'elle fait ainsi éclater, en y pénétrant comme un coin, les roches les plus dures, soit que, chargée d'acide carbonique, elle les attaque lentement.

Nous n'envisageons ici que l'eau qui est contenue dans le sol. Aussi n'évoquons-nous qu'en passant l'action considérable que les glaciers exercent sur les roches qui forment leur lit. On sait que ces masses énormes de glace se déplacent lentement et que, durant leur marche, les cailloux, les pierres qu'elles enchâssent usent les parois des roches voisines, en arrachant des fragments qu'elles transportent au loin, comme l'attestent les moraines qui ceignent leur front.

On a mis en lumière dans ces dernières années le rôle indirect, mais très important cependant, que les êtres inférieurs et les organismes infiniment petits jouent dans la décomposition des roches et la formation de la terre arable. Les microorganismes, qui pullulent dans le sol, produisent tous de l'acide carbonique ou nitrique. S'ils s'établissent sur une roche déjà plus ou moins décomposée, il est évident qu'ils aident à sa destruction. C'est ce que M. Muntz a constaté. « Un des exemples les plus frappants, dit-il, m'a été fourni par un massif des Alpes de l'Oberland bernois, le Faulhorn (Pic pourri), qui est constitué par un calcaire schisteux noir et friable en voie d'émiettement et dont toute la masse est envahie par le ferment nitrique. »

Aux sables, aux argiles, au fer et à la chaux viennent s'ajouter l'humus qui résulte de la décomposition de la matière organique, des résidus des végétaux qui se sont succédé sur le sol. C'est le témoin et le gage de la fertilité. Cette décomposition des matières organiques à laquelle il est dû s'effectue grâce à l'intervention active des microbes, à celle des champignons, à celle des vers de terre, comme l'a montré Darwin. Les lombrics se nourrissent de feuilles mortes, de débris de plantes ; leurs excréments forment de l'humus. En outre, ils sillonnent la terre en tous sens, lui donnent ainsi de véritables façons et favorisent sa pénétration par l'air et par l'eau.

La terre est quelque chose de vivant, a dit M. Berthelot. « Mais ce quelque chose » ne peut être vivant qu'à la condition de contenir assez d'eau pour y entretenir la vie. Il faut de l'eau pour le développement des algues qui fixent l'azote de l'air (Schlœsing fils et Laurent). Il faut de l'eau pour nitrifier (Schlœsing et Muntz).

La nitrification, qui a un si grand intérêt pour la fertilisation du sol, s'arrête complètement dans la terre sèche. Dès que la terre contient 0,05 p. 100 d'eau, la nitrification s'y établit ; 0,10 à 0,15 p. 100 paraît



être le degré d'humidité optimum. Il est clair d'ailleurs que, la nitrification étant un phénomène d'oxydation, elle cesserait de s'opérer si la terre était gorgée d'eau, parce qu'elle ne contiendrait alors plus d'oxygène. La vie microbienne exige pour s'exercer de l'eau et des matières organiques. On peut la développer au maximum dans les sols en leur fournissant de l'eau et des fumures.

Les plantes assimilent l'acide carbonique de l'air pour former de la matière organique. Les animaux qui se nourrissent de plantes en forment à leur tour. Il est nécessaire que cette matière organique soit ensuite décomposée afin que l'acide carbonique et les matières minérales qu'elle renferme rentrent dans la circulation. Ainsi se trouve fermé le cycle de la vie. Ce sont les organismes inférieurs animés par la chaleur, par l'oxygène et par l'humidité qui se chargent de cette décomposition, qui dégradent peu à peu la matière organique. Comme l'a dit Pasteur, sans eux la vie cesserait parce que la terre serait bientôt encombrée de cadavres. L'eau est absolument indispensable à leur activité.

Dans les milieux rigoureusement secs, ils suspendent leur utile fonctionnement. L'eau acquiert donc ici une nouvelle importance; la symétrie, l'harmonie que l'on admire dans les phénomènes naturels, le cycle que parcourent leurs agents réapparaissent dans l'étude des rapports entre l'eau et la matière organique. Après avoir contribué à la créer, en donnant avec la lumière et la chaleur la vie aux plantes, l'eau contribue à la détruire. Et elle assure ainsi sa perpétuité.

1. — Pouvoir absorbant des terres pour les matières fertilisantes.

On peut se demander si les quantités d'eau considérables qui sont nécessaires à la fertilité des terres et à la vie des plantes ne vont pas entraîner dans les profondeurs du sous-sol les éléments de fertilité réunis souvent à grands frais à la surface. La pluie, l'irrigation, l'apport de l'eau enfin, ne pourront-ils pas devenir nuisibles, épuiser les terres? Non, grâce à une propriété remarquable qui a été découverte en 1819 par l'Italien Gazzeri, en 1848 par les Anglais Huxtable et S. Thompson : *celle que possède la terre végétale de fixer certains principes fertilisants*. Sans cela, pas de fertilité possible. La pluie entraînerait immédiatement les aliments des plantes. L'irrigation ne serait pas possible. Elle laverait les terres jusqu'à l'épuisement.

Huxtable constata qu'en filtrant du purin sur de la terre on obtient un liquide incolore, dépourvu d'odeur. De son côté, Thompson reconnut, à peu près à la même époque, que la terre retient à l'état insoluble l'ammoniaque d'une dissolution ammoniacale alcaline ou même l'ammoniaque d'un sel tel que le chlorhydrate, le sulfate ou le nitrate. Way étendit ces recherches à d'autres substances. Et il prouva que le pouvoir absorbant des terres s'exerce encore à l'égard de toutes

es bases alcalines et terreuses nécessaires aux végétaux. Ainsi, comme l'a dit M. Schloësing, « le sol n'est plus seulement le laboratoire où se forment les principes fertilisants et où ils sont préparés sous la forme qui convient pour leur assimilation ». Il nous apparaît encore comme un magasin où ils s'accumulent, « sont mis en réserve ». Liebig, Boustleïn, et, dans ces dernières années, M. P. de Mondésir, ont complété les premières recherches qui ont été faites sur le pouvoir absorbant.

Way a mesuré sa valeur. Il s'exerce très énergiquement, mais il est facilement satisfait. La proportion des principes absorbés ne dépasse pas 2 ou 3 millièmes du poids de la terre, ce qui représente 6 000 à 9 000 kilogrammes d'alcali par hectare du poids supposé de 3 000 000 de kilogrammes ; c'est-à-dire une quantité de beaucoup supérieure à ce que réclament les plantes les plus exigeantes.

Les quantités d'alcali fixé dépendent d'ailleurs du degré d'approvisionnement du sol. Ainsi, *le pouvoir absorbant du sol est presque nul pour la soude et la chaux. Il est beaucoup plus grand pour la potasse et l'ammoniaque.* Le sol, en effet, est incessamment dépouillé de ces deux bases. Toutes les plantes consomment de la potasse. Quant à l'ammoniaque, il est à chaque instant transformé en acide nitrique. La soude n'est presque pas utilisée par les plantes. La chaux existe presque toujours en stock suffisant.

Si l'alcali est présenté sous forme de sel, nitrate de potasse, sulfate d'ammoniaque, la base seule est fixée ; l'acide se combine à la chaux du carbonate de chaux qui préexiste dans la terre et s'échappe. La condition *sine qua non* de la fixation de ces alcalis donnés sous forme de sels, c'est la présence de la chaux dans le sol. Si elle n'y existe pas, la matière fertilisante n'est pas fixée. Elle le serait si elle s'était offerte à la terre sous forme de solution dans l'eau. Ainsi la terre fixera l'ammoniaque d'une dissolution ammoniacale, même en l'absence du calcaire. Des divers acides, *seul l'acide phosphorique est retenu par la terre.* Mais ce n'est pas le pouvoir absorbant qui s'exerce en sa faveur. Il se combine avec les bases du sol pour former des phosphates insolubles, circonstance bien heureuse aussi puisque l'acide phosphorique est l'un des éléments les plus précieux aux plantes.

L'acide nitrique ne peut former, lui, que des sels solubles, et le sol ne le retient plus. Aussi ce principe fertilisant, d'une si grande importance, n'est-il pas conservé par le sol. Il en est de même pour la chaux qui se dissout dans l'eau en présence de l'acide carbonique, dont l'atmosphère confinée dans le sol est chargée.

Le pouvoir absorbant du sol rentre dans la classe des phénomènes attribués à l'affinité capillaire (M. Schloësing). Il s'exerce sur les dissolutions aqueuses des alcalis. Il s'exerce sur leurs dissolutions salines, pourvu que, grâce au carbonate de chaux, les sels puissent, par un échange, se transformer en carbonates. *Il n'appartient ni au calcaire pur, ni au sable pur, mais à l'argile ou au terreau.* Comme toutes les terres végétales contiennent de l'humus, elles se montrent toutes douées du pouvoir absorbant.

2. — Composition des dissolutions contenues dans le sol.

Il est très intéressant, au point de vue de l'assèchement des terres ou au contraire de leur irrigation, de connaître comment l'eau, une fois dans le sol, se comporte vis-à-vis des éléments de fertilité. C'est pourquoi nous devons dire quelques mots du pouvoir absorbant du sol à l'égard de ces éléments. L'étude de la composition chimique des dissolutions contenues dans le sol est le complément nécessaire de celle du pouvoir absorbant. Ce que nous avons dit de celui-ci fait prévoir immédiatement que les eaux qui circulent dans le sol seront pauvres en éléments de fertilité, sauf en ce qui concerne les nitrates, qui ne sont pas retenus par les terres, et le calcaire. Plusieurs expérimentateurs ont analysé les eaux de drainage, qui représentent des dissolutions qui ont traversé le sol et le sous-sol. Voici les résultats obtenus par M. Risler sur sa propriété de Calèves.

Le 25 mai 1872, le collecteur coulait très fort. Il était tombé, depuis le commencement du mois, 135 millimètres de pluie. L'eau de drainage était trouble. Elle contenait par litre :

0^{gr},0127 de matières en suspension, séparées par filtrage, et 0^{gr},3167 de matières dissoutes.

Ces dernières se composaient de :

Silice.....	0 ^{gr} ,0105
Précipité par ammoniac.....	0 ^{gr} ,0075
Carbonate de chaux.....	0 ^{gr} ,2370
— de magnésie.....	0 ^{gr} ,0257
Acide sulfurique.....	0 ^{gr} ,0017
Chlore.....	0 ^{gr} ,0020
Potasse et soude.....	0 ^{gr} ,0140
Acide nitrique.....	0 ^{gr} ,0033
Pertes, etc.....	0 ^{gr} ,0150
Total.....	0 ^{gr} ,3167

L'eau renfermait par litre 42^{cc},85 de gaz composés de :

Acide carbonique.....	30 ^{cc} ,50
Azote.....	10 ^{cc} ,10
Oxygène.....	2 ^{cc} ,25

Le 8 août, après une série de pluies et d'orages qui avaient duré une dizaine de jours, l'eau du même drain, trouble et d'aspect laiteux, contenait par litre 0^{gr},083 de matières en suspension et 0^{gr},305 de matières dissoutes, dont 0^{gr},0018 d'acide nitrique, mais pas d'ammoniac.

Way a exécuté de nombreuses analyses d'eaux de drainage dont M. Schlesing a résumé les résultats dans le tableau ci-contre :

RISLER et WERY. — *Irrigations et drainages.* 3

		Substances contenues dans 1 litre d'eau de drainage.	
Potasse.....	De 0	à 3 milligr.	
Soude.....	12	à 45	—
Chaux.....	33	à 185	—
Magnésic.....	3	à 35	—
Oxyde de fer et alumine..	0	à 18	—
Silice.....	6	à 25	—
Acide phosphorique.....	0	à 1,7	—
Ammoniaque.....	0,1	à 0,3	—
Acide nitrique.....	27	à 165	—
Chlore et acide sulfurique.	Extrêmement variables.		

Ces chiffres montrent que les eaux souterraines n'entraînent que de faibles quantités de principes fertilisants, les nitrates et la chaux exceptés.

Les nitrates sont exportés dans des proportions réellement importantes. MM. Lawes, Gilbert et Warington estiment qu'en moyenne les eaux de drainage enlèvent par an à une terre non cultivée 47 kilogrammes environ d'azote nitrique, ce qui équivaut à une fumure de 300 kilogrammes de nitrate de soude. La perte est beaucoup moins considérable lorsque les terres sont cultivées. Elle varie, du reste, avec les emblavures et les engrais qui ont été mis en terre. MM. Lawes et Gilbert ont trouvé pour l'un des champs du domaine de Rothamsted, cultivé depuis 1884, que la moyenne de la quantité d'azote perdue par hectare et par an pendant la période 1894-1881 a varié suivant les fumures de 16^{kg},73 à 82^{kg},81.

P.-P. Dehérain a fait sous le climat de Paris, à l'École de Grignon, de très importantes recherches sur ce sujet, et il est arrivé à des résultats du même ordre. Il a trouvé que, si les jachères nues pouvaient laisser perdre par hectare et par an jusqu'à 209 kilogrammes d'azote nitrique et même, dans le cas d'une jachère cultivée, jusqu'à 220 kilogrammes, les terres cultivées ne laissaient perdre que beaucoup moins. 2^{kg},5 (ray-grass), 0^{kg},3 (betterave à sucre), 24^{kg},2 (avoine), 33^{kg},25 (blé).

L'exportation de la chaux, d'après les expériences de Rothamsted, atteint 230 kilogrammes par hectare et par an; celles de la magnésie, de la potasse et de l'acide phosphorique sont très faibles. D'ailleurs, comme on l'avait déjà constaté à Rothamsted, les déperditions d'acide nitrique sont plus considérables à la fin de l'automne et en hiver, époque où les terres sont nues, minimes pendant la durée de la végétation. Les plantes cultivées absorbent les nitrates qui seraient entraînés par les eaux. Le regretté savant parlait de cette observation pour préconiser le moyen suivant de lutter contre l'entraînement des nitrates par les eaux de pluie : faire des cultures dérobées après la moisson. Les plantes fourragères, comme la vesce, peuvent être enterrées avec profit à l'automne et constituer un excellent engrais vert qui incorpore au sol l'azote qui en aurait été enlevé par les pluies. Il est

évident qu'il est nécessaire que la fin de l'été ne soit pas trop sèche, qu'il ait plu suffisamment pour favoriser la venue de la récolte dérobée, sans quoi les frais nécessités par celle-ci ne seraient pas couverts./

Les eaux de drainage représentent-elles bien les dissolutions qui imbibent la terre, qui existent dans son sein? On peut dire qu'elles sont diluées par les eaux de pluie et que, par conséquent, elles ont une composition différente. M. Schloesing a résolu cette question grâce à une méthode et à un appareil extrêmement ingénieux. Cet appareil déplace les dissolutions contenues dans le sol sans en modifier la composition.

	TERRE DE BOULOGNE (argilo-calcaire meuble).		TERRE D'ISSY (argilo-calcaire meuble).		CINQ TERRES DE NEAUPHLE- LE-CHATEAU (argilo-siliceuses meubles).
Taux p. 100 d'humidité	19,1	18,8	15,8	15,8	15 à 21
Taux p. 100 d'acide carbonique dans l'atmosphère de la terre	0,49	0,54	2,55	2,4	»
1 litre de dissolution contient :					
	milligr.	milligr.	milligr.	milligr.	milligr.
Acide carbonique...	117	199	480	1438	138 à 200
— nitrique	305	332	154	231	15 à 600
Chlore.....	7	6	6	»	12 à 46
Acide sulfurique....	58	75	50	50	22 à 50
— phosphorique et fer.....	0,8	2,8	0	0	0,5 à 1,5
Silice.....	29	32	26	34	23 à 48
Ammoniaque	traces	traces	traces	traces	0 à 0,8
Chaux.....	264	227	301	694	140 à 311
Magnésie.....	13	20	21	47	15 à 33
Potasse.....	7	157	3	2,6	0 à 5
Soude.....	8,8	14	27	38	18 à 42
Matière organique..	37	90	64	87	24 à 50

Le tableau ci-dessus donne l'analyse des dissolutions extraites de sept terres fertiles. Ces résultats montrent immédiatement que la composition des eaux contenues dans le sol est sensiblement la même que celle des eaux de drainage. Comme les eaux de drainage, elles sont dépourvues presque absolument d'ammoniaque, d'une grande pauvreté en potasse et en acide phosphorique. Elles sont encore, comme les eaux de drainage, d'une assez grande richesse en chaux et en acide nitrique. Elles contiennent des quantités notables de soude et de chlore. Le calcaire s'y trouve, comme dans les eaux congénères, à l'état de

bicarbonate de chaux. Sa teneur est fonction de la tension de l'acide carbonique dans l'atmosphère confinée du sol et croît avec elle. Aussi est-elle très variable.

Nous avons dit que Lawes et Gilbert estimaient qu'en moyenne les eaux de drainage enlèvent par an, à une terre non cultivée, 47 kilogrammes environ d'azote, ce qui équivaut à une fumure de 300 kilogrammes de nitrate de soude, mais que la culture diminuait considérablement ces pertes.

En ce qui concerne le calcaire, en supposant que l'atmosphère confinée du sol renferme un centième d'acide carbonique et qu'il tombe 60 centimètres de pluie dont le tiers pénètre dans les couches profondes, on trouve que les 2 000 mètres cubes d'eau qui passent du sol dans le sous-sol y entraînent annuellement 406 kilogrammes de calcaire (1).

Ces chiffres ne sont que d'assez grossières approximations ; mais ils suffisent pour donner une idée des pertes que l'eau peut faire subir au sol, soit qu'elle provienne des pluies, soit qu'elle y soit artificiellement amenée par l'irrigation. Contre les pertes d'acide nitrique, les plantes cultivées offrent la meilleure défense. L'entraînement du calcaire par les pluies ou par des eaux d'irrigation dépourvues de chaux montre toute l'utilité des marnages et des chaulages périodiques. Nous y reviendrons.

Dans quelle mesure les dissolutions salines contenues dans le sol servent-elles à l'alimentation des plantes ?

C'est dans le but de répondre à cette question et sur le conseil du comte de Gasparin, alors directeur de l'Institut agronomique de Versailles, que MM. Verdeil et Risler ont analysé, en 1852, les substances solubles dans l'eau des terres des fermes qui faisaient partie de cet Institut (2). Ils y ont trouvé par kilogramme de terre et par litre d'eau de $1/2$ à 1 gramme de substances dissoutes. Ces extraits se composaient de 29,50 à 67 p. 100 de matières minérales et de 70,50 à 33 p. 100 de matières organiques contenant 1,5 à 2 p. 100 de leur poids d'azote.

Nous donnons ci-contre le détail de ces analyses :

Les plantes absorbent les principes insolubles ou retenus par le sol grâce au suc acide que sécrètent les racines. Le physiologiste Sachs a montré quelle était l'action de ce suc en cultivant des plantes dans des vases dont le fond était formé d'une plaque de marbre. Les racines y ont laissé des traces qui prouvent leur action corrosive sur le calcaire.

Les racines peuvent donc attaquer directement les matériaux qui contiennent à l'état insoluble leurs aliments. Mais on pouvait se demander si les conséquences qu'on tirait de ce fait ne restreignaient

(1) C.-V. GAROLA, Contribution à l'étude physique des sols.

(2) VERDEIL et RISLER, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XXXV, 1895, et DE GASPARIN, *Cours d'agriculture*, t. VI, 1863.

Nos solos mveis-argilo silicosos e silicosos esta quantidade que por fim tem a descer ficando armazenada nos camadas mais mveis e sobre as

DÉSIGNATION DES ANALYSES.	MAIL.	FAISANDERIE.	GAZON.	AVENUE DE LA REINE.	POTAGER.	SATORY.	ARGILE	DE GALV.	CALCAIRE	DE GALV.	TOURBE.	SABLIÈRE.	MOYENNE.
Matières organiques.....	43,00	70,40	35,00	44,00	37,00	33,00	48,00	47,00	46,00	47,04	45,44		
Cendres.....	57,00	29,50	63,00	66,00	63,00	67,00	52,00	53,00	54,00	52,06	54,86		
<i>Composition pour 100 des cendres.</i>													
Sulfate de chaux.....	48,92	31,49	48,45	43,75	36,60	18,70	18,75	17,21	24,45	22,31	31,06		
Carbonate de chaux.....	25,60	35,29	6,08	6,03	12,35	24,25	45,61	48,50	30,01	31,50	26,90		
Phosphate de chaux.....	4,17	2,16	2,05	6,32	11,20	18,50	3,80	9,90	0,92	8,10	6,69		
Oxyde de fer.....	1,55	0,47	1,21	2,00	traces	3,72	0,95	traces	5,15	1,02	1,61		
Alumine.....	0,62	traces	»	traces	traces	0,90	1,35	»	traces	»	0,30		
Chlorures de sodium et de potassium.....	7,63	3,55	6,10	11,45	8,51	»	9,14	6,21	6,06	4,05	7,58		
Silice.....	5,49	13,67	25,71	15,61	19,60	21,60	5,00	5,50	8,75	15,58	18,65		
Potasse et soude des sili- cates.....	3,47	4,25	5,06	4,13	7,23	4,65	7,60	8,32	7,45	6,57	5,01		
Magnésie.....	»	»	»	»	traces	»	7,60	5,26	»	»	1,59		
Autres matières.....	2,85	9,44	4,55	7,66	4,41	7,78	»	»	46,63	7,78	»		

pas trop le rôle de l'acide phosphorique et de la potasse qui se trouvent dans les eaux à l'état de dissolution. Les remarquables recherches qui ont été entreprises depuis 1898 par M. Schloësing fils prouvent que ces dissolutions jouent dans la nutrition des végétaux un rôle beaucoup plus important qu'on ne le supposait jusqu'ici. *Elles montrent, en même temps, une fois de plus, quel précieux agent de fertilité représente l'eau, combien sa présence dans le sol est utile.* Et c'est pourquoi nous y insistons.

On sait que 1 hectare de terre arable du poids de 3 000 à 4 000 tonnes peut contenir 1 à 2 ou 3 p. 1 000 d'acide phosphorique ou de potasse, soit de 1 000 à 3 000 kilogrammes d'acide phosphorique total, non dissous, et même fréquemment jusqu'à 4 000 kilogrammes de potasse, à l'état brut, et bien plus non dissoute. Les solutions aqueuses contenues dans le sol ne contiennent que des millionièmes de ce stock, 1 milligramme, parfois 2 ou 3 milligrammes d'acide phosphorique par litre, un peu plus pour la potasse. En sorte qu'une terre renfermant 15 p. 100 d'eau ne renfermerait à l'état dissous que 0^{mg},45 d'acide phosphorique par hectare, quantité bien faible relativement au contenu de la récolte. Elle pourrait aussi contenir 1 à 2 kilogrammes de potasse dite « assimilable », c'est-à-dire à l'état soluble, quantité également bien minime si on la compare aux 50 kilogrammes de potasse qu'une récolte moyenne de blé, par exemple, enlève à 1 hectare de terre.

Ces dissolutions, si pauvres, sont-elles cependant capables de fournir aux récoltes les quantités d'acide phosphorique et de potasse qui leur sont nécessaires?

Si une récolte de blé contient 30 à 40 kilogrammes d'acide phosphorique et si cette récolte a transpiré 2 millions de litres d'eau par hectare pour se former, il suffit que cette eau ait dissous dans la terre 15 à 20 milligrammes par litre d'acide phosphorique. Cela est bien d'accord avec les résultats des recherches de M. Schloësing fils comme avec celles de M. Risler.

Des sols de grès stériles et inaptes par eux-mêmes à alimenter convenablement des plantes en acide phosphorique ont été arrosés avec des liqueurs nutritives contenant cet acide à des doses diverses. Sur ces sols, on a cultivé différentes plantes qui ont dû prélever leur acide phosphorique à peu près exclusivement sur les dissolutions qu'on leur offrait. Sans addition d'acide phosphorique dans les dissolutions, les plantes sont restées misérables. En présence de dissolutions contenant des quantités d'acide phosphorique de l'ordre de celles qui existent dans les terres arables, elles ont prospéré ; avec des liqueurs à 2 milligrammes par litre, on a obtenu de fort beaux maïs, et avec des liqueurs à 0^{mg},5 et 1 milligramme seulement, des blés qui correspondent à des récoltes convenables.

Une autre expérience a montré que des plantes peuvent s'alimenter en potasse d'une manière suffisante aux seuls dépens de dissolutions qui n'en contiennent que quelques millionièmes.

Dans ces expériences, les solutions nutritives sont naturellement renouvelées d'une manière constante. Les plantes sont arrosées d'une manière régulière à l'aide de dispositifs spéciaux. Et c'est grâce à ce contact incessant avec le liquide nourricier, si pauvre soit-il, que les plantes peuvent prospérer. Or, M. Schlœsing a montré que, dans les conditions normales, les sols mettent à la disposition des racines des solutions dont la teneur en acide phosphorique et en potasse reste la même. Il a analysé les dissolutions contenues dans un même sol, pris à la même époque, mais à des degrés d'humidité différents, et il a constaté que le titre de ces dissolutions en acide phosphorique, comme en potasse, était presque constant. Ainsi, dans des échantillons de terre très sableuse de Joinville-le-Pont, l'humidité passant de 5 à 11,5 p. 100 et à 25 p. 100, la quantité d'acide phosphorique contenue dans le premier litre de la dissolution qui imprégnait la terre, extrait par dissolution, a été successivement de 1^{mg},02, 1^{mg},19 et 1^{mg},05. Dans un autre échantillon provenant d'une terre de la ferme de M. Brandin, à Galande (Seine-et-Marne), l'humidité variant de 12,4 p. 100 à 22 p. 100, l'eau initiale contenue dans la terre variant de 5 litres à 81,8, la quantité d'acide phosphorique retirée du premier litre a été de 0^{mg},09 et de 0^{mg},12.

Ainsi, malgré des variations considérables du taux de l'humidité, la quantité de l'élément fertilisant contenu dans la dissolution qui imprègne la terre reste sensiblement constante dans le même sol et au même moment.

Entre le stock d'acide phosphorique ou de potasse insoluble et l'eau s'établit, par des réactions chimiques très complexes, un état d'équilibre. Il est rompu dans un sens ou dans l'autre suivant les variations de la teneur en acide phosphorique ou en potasse de la dissolution qui baigne les particules terreuses et les racines des plantes. Celles-ci absorbent-elles une certaine quantité de principe fertilisant, le titre de la dissolution diminue, le stock insoluble fournit immédiatement la dose qui est nécessaire pour rétablir l'équilibre. Il en est de même s'il est rompu par l'arrivée de la pluie ou encore par la persistance de la sécheresse. Cette constance relative s'explique très bien quand on réfléchit que la quantité du principe dissous est très petite par rapport au stock qui l'entretient — potasse ou acide phosphorique — en vertu de l'équilibre considéré.

Ainsi, des belles recherches de M. Schlœsing fils (1) résulte d'une part que les dissolutions nutritives de très faibles teneurs — 0^{mg},95, 1 milligramme, 2 milligrammes — peuvent fournir aux récoltes les quantités d'acide phosphorique et de potasse nécessaires ; d'autre part, que le titre de ces dissolutions contenues dans le sol se maintient constamment grâce à un équilibre chimique. Le renouvellement de la quantité d'acide phosphorique ou de potasse s'opère au fur et à mesure que les plantes absorbent ce qui leur est nécessaire.

(1) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 13 mai 1901.

Et ce renouvellement s'effectue assez vite, — en quelques heures pour une terre qu'on agite doucement avec de l'eau, — de telle sorte que, au cours d'une saison de végétation, il est capable de fournir aux plantes l'acide phosphorique qu'elles absorbent.

Ce renouvellement constant de l'acide phosphorique — et de la potasse — soluble au fur et à mesure que les plantes le consomment, fait que, malgré sa rareté relative, cet acide phosphorique joue un rôle très important dans la fertilité des terres. L'eau lui sert en quelque sorte de véhicule. Elle en transporte très peu à la fois, il est vrai, mais ce transport est incessant. D'ailleurs, comme l'a établi M. Schlœsing, le stock d'acide phosphorique soluble que peut fournir une terre est considérable relativement aux besoins des récoltes. En agitant 300 grammes de terre avec 1 300 centimètres cubes d'eau — suivant un procédé particulier, — décantant ensuite 1 litre et le remplaçant par de l'eau neuve, puis recommençant ces opérations un grand nombre de fois et analysant divers litres décantés, il a pu facilement obtenir le total d'acide soustrait par l'eau à 300 grammes de terre et passer de là à l'hectare du poids moyen de 4 000 tonnes, en restant d'ailleurs au-dessous du véritable approvisionnement cherché, car l'épuisement de la terre n'a pas été achevé. Il a vu ainsi qu'un échantillon de terre de Boulogne (Seine) pouvait donner par épuisement une quantité d'acide phosphorique qui correspondait, pour l'hectare, jusqu'à 440 kilogrammes d'acide phosphorique soluble à l'eau : la terre de Joinville peut en contenir 210 kilogrammes, une terre de Neauphle 130. Ainsi, il y a dans 1 hectare de terres de fertilité convenable, comme les précédentes, un stock d'acide phosphorique soluble à l'eau qui pourrait à lui seul subvenir aux besoins de cinq, dix ou vingt récoltes. Ce stock s'entretient par les engrais, par la décomposition des résidus des récoltes et par celle des débris des roches qui existent dans le sol.

M. Schlœsing (1) fait remarquer que si, dans ses expériences, il a dû employer une grande quantité d'eau, relativement au poids de terre, c'est que c'était le seul moyen d'abaisser le titre des liquides et de leur permettre de dissoudre une quantité suffisante d'acide phosphorique. Mais dans les terres en place il y a les racines des plantes. Et celles-ci sont capables d'abaisser le titre des dissolutions et de prolonger ainsi indéfiniment l'action dissolvante exercée sur le sol par une même masse d'eau, fût-elle restreinte.

Au faisceau des preuves qu'il avait déjà réunies en sa faveur, M. Schlœsing a voulu ajouter une démonstration directe du rôle important que joue dans l'alimentation des plantes l'acide phosphorique soluble à l'eau.

Il a dosé l'acide phosphorique des dissolutions aqueuses extraites du même sol cultivé et non cultivé. Il s'est adressé à deux terres : l'une celle de Boulogne, relativement très riche en phosphates solubles

(1) TH. SCHLÖESING fils, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1898.

dans l'eau ; l'autre, celle de Galande, particulièrement pauvre.

Il a trouvé des différences telles entre les quantités d'acide phosphorique contenu dans les solutions extraites des terres non cultivées et celles qui étaient contenues dans les solutions extraites des terres cultivées, qu'elles établissent très nettement que les plantes ont appauvri à leur profit le sol d'une manière très sensible, en phosphate soluble à l'eau.

M. Schlœsing fils est allé plus loin. Ayant séparé avec grand soin les plantes de leur sol, il a dosé l'acide phosphorique dans les plantes entières, et rapprochant les résultats obtenus (diminués de la petite quantité d'acide phosphorique préexistante dans les graines semées) de la perte en phosphates solubles éprouvée par les sols, il a trouvé que les maïs cultivés dans la terre de Boulogne contenaient 1 115 milligrammes d'acide phosphorique, alors que les 36 kilogrammes de terre servant à l'expérience avaient perdu 1 012 milligrammes d'acide phosphorique soluble à l'eau, et que, dans la terre de Galande, les maïs récoltés renfermaient 450 milligrammes d'acide phosphorique contre 199 milligrammes perdus par la terre.

Ainsi, sur la terre fertile de Boulogne, les maïs ont emprunté aux phosphates solubles à l'eau la presque totalité de phosphore assimilé et près de la moitié sur la terre de Galande. Ces proportions sont des minima, car l'épuisement des sols par les traitements successifs à l'eau n'ayant pas été complet, on n'a pas pu évaluer tout le prélèvement qui a été opéré par les plantes.

Les phosphates solubles à l'eau — la potasse soluble aussi — jouent donc un rôle beaucoup plus important qu'on ne le supposait jusqu'ici dans l'alimentation des plantes. Des recherches de M. Schlœsing fils on peut déduire de nouvelles conclusions en faveur du rôle de l'eau dans la végétation. L'eau des sols peut être regardée, dit-il, comme le véhicule d'une bonne part, peut-être de la plus grande part, de l'acide phosphorique (et d'autres principes encore) absorbé par les racines. Plus exactement, elle peut constituer un milieu de passage que traverse l'acide phosphorique pour se rendre du sol dans les racines ; les racines y puisent cet acide et le sol répare la perte. Il n'est pas besoin, pour cela, que l'eau soit renouvelée ni très abondante, bien qu'elle doive, étant plus abondante, mieux remplir sa fonction. Il n'est pas besoin non plus qu'elle s'absorbe en même temps que l'acide phosphorique pour que cet acide pénètre dans la plante ; eau et acide sont indépendants sous ce rapport. Ce milieu de passage, que l'eau représente, ne laisse circuler que très peu d'acide phosphorique à la fois ; mais la circulation est incessante dans la période de végétation et arrive à fournir aux plantes une importante quantité d'aliment. Sans ce jeu, une partie des phosphates non dissous, que les racines n'auraient pas la chance de rencontrer dans le sol et que par suite elles ne pourraient pas attaquer directement, constituerait un fonds inutile à la végétation.

CHAPITRE II

RELATIONS ENTRE LA TERRE, L'EAU ET
L'ATMOSPHÈRE AU POINT DE VUE PHYSIQUE.

I. — PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES SOLS.

Le sol qui supporte les plantes est le magasin où elles trouvent leurs aliments et le réservoir où elles s'abreuvent. Déjà, on peut prévoir que sa constitution physique ne sera pas indifférente à ce double rôle. Il est clair que son plus ou moins de compacité, par exemple, son degré de perméabilité, d'humidité, la cohésion de ses particules exerceront une influence très sérieuse sur le cheminement des racines et, par conséquent, sur l'alimentation même de la plante. Mais celle-ci dépend surtout des solutions salines et des gaz qui circulent dans la terre. L'étude des relations entre l'atmosphère, l'eau et le sol est donc d'une extrême importance au point de vue général. Elle acquiert un intérêt capital lorsqu'il s'agit d'apporter à la terre l'eau qui lui est nécessaire, par l'irrigation, ou d'extraire l'excès nuisible, par le drainage. *Il ne faut donner artificiellement au sol que la quantité d'eau qu'il est capable de recevoir en raison de son degré de perméabilité, d'abord parce que, donnant davantage, on le gâterait, et ensuite parce que, dans tous les cas, on commettrait une grave faute économique.* Puis, suivant qu'il est plus ou moins compact, on disposera les tuyaux de drainage à une profondeur et à un écartement différents ; on espacera plus ou moins les rigoles d'irrigation.

C'est surtout du *pouvoir d'imbibition des terres* et de leur *perméabilité* que dépendent les règles sur lesquelles reposent l'art des irrigations et celui des dessèchements. Il y a trente ans que M. Schlœsing a expliqué les propriétés physiques des sols d'une manière si exacte que, depuis, les observateurs s'appuient toujours sur ses conclusions. Mais les ingénieurs, jusqu'il y a peu de temps, ne s'en préoccupaient pas assez. C'est ainsi que l'on a creusé des canaux qui ont coûté fort cher



pour irriguer des terres que leur constitution physique rendait impropres à l'irrigation. Presque partout, l'eau est distribuée aux riverains sans avoir égard à l'aptitude de leurs terres, à l'arrosage, alors que certains terrains sont entre eux sous ce rapport comme 1 est à 600 ! Ainsi on a engagé des capitaux qui non seulement sont peu productifs, mais qui grèvent les usagers de redevances d'autant plus onéreuses qu'elles restent presque sans profit. Depuis quelque temps, cette intéressante question fait l'objet de travaux suivis. M. Kopecky, directeur de la Station agronomique de Prague, l'a étudiée dans ses rapports avec le drainage. Un ancien élève de l'Institut agronomique, M. de Ville-Chabrolle, a donné aux *Annales de l'Institut* (t. VII, 2^e série) un excellent travail sur ces recherches. En France, le Service des Améliorations agricoles, qui depuis sa création, avec une activité incessante, étudie les bases rationnelles sur lesquelles doivent s'asseoir ses travaux dans notre pays, s'est attaqué à ce problème fondamental. M. Müntz, membre de l'Institut, notre éminent maître de l'Institut agronomique, avec MM. Faure, inspecteur des Améliorations, et M. Lainé, préparateur à notre École supérieure de l'Agriculture, ont publié dans les *Annales de la direction de l'Hydraulique et des Améliorations agricoles* (années 1905, fasc. 33 ; 1907, fasc. 36 bis ; 1913, fasc. 44) plusieurs mémoires très importants sur la perméabilité des terres envisagées au point de vue des arrosages. Nous les analyserons.

Ces études, commencées en 1905 avec M. Faure, poursuivies jusqu'en 1912 avec M. Lainé, ont apporté de très importantes contributions à la solution de cette question difficile.

Ce qui la rend si délicate, c'est que l'agriculteur n'a affaire qu'au sol en place et que celui-ci se comporte tout différemment qu'un échantillon transporté au laboratoire. Il faudrait donc que l'expérimentateur n'agît que sur le terrain ou, dans tous les cas, qu'il se plaçât au Laboratoire dans des conditions qui se rapprochent le plus possible de la nature.

Le pouvoir d'imbibition des terres, leur perméabilité à l'eau et à l'air, se lient d'ailleurs aux autres propriétés physiques des sols, qui constituent un ensemble solidaire. Nous passerons en revue les unes et les autres dans l'ordre suivant :



1° **Pouvoir d'imbibition des terres.** *Capacité totale et capacité absolue d'absorption pour l'eau. Porosité. Capacité pour l'air. Nombre et surface des particules terreuses ;*

2° **Perméabilité.** *Expériences de MM. Müntz, Faure et Lainé. Expériences et appareil de M. Kopecky ;*

3° **Capillarité.** *Mouvements de l'eau dans le sol ;*

4° **Dessiccation des terres.** *Évaporation ;*

5° **Retrait du sol.** *Fendillement ;*

6° **Température du sol.**

La connaissance exacte des propriétés physiques des sols que l'on se propose d'améliorer permettra de répondre avec précision aux questions suivantes :

Comment ces terres se comporteront-elles vis-à-vis de l'eau que leur apporteront les pluies et l'irrigation ? Comment cette eau circulera-t-elle ? dans quelle mesure sera-t-elle retenue ? Quelles doses d'arrosage convient-il de donner ? Quel degré d'énergie doit atteindre le drainage ? Quels sont les meilleurs procédés qu'il faut employer pour favoriser la pénétration de l'eau dans la terre, sa diffusion, son maintien et sa distribution aux plantes ?

1. — Pouvoir d'imbibition des terres.

La faculté que la terre possède de retenir l'eau après qu'elle a été mouillée, ou son pouvoir d'imbibition, a été étudiée dans les conditions naturelles des choses, pour la première fois, par M. Risler. Et nous avons dit combien cela importait à l'exactitude des résultats.

A l'aide d'une sonde, M. Risler prélevait dans des terres en place des échantillons qu'il portait au laboratoire. Là, il déterminait les quantités d'eau qu'ils contenaient. Il a trouvé que ces quantités variaient de 6,5 p. 100 à 25 p. 100 du poids total de la terre, dans sa propriété de Calèves (1). Et il a montré, dès l'époque à laquelle il a fait ses expériences, c'est-à-dire dès 1869, que les chiffres fournis par Schübler pour mesurer le pouvoir d'imbibition des terres étaient exagérés, parce qu'ils ne répondaient pas à la réalité des choses.

Schübler employait un procédé dont M. Schloësing a montré

(1) EUG. RISLER, *Recherches sur l'évaporation du sol et des plantes*, Genève, 1879.



aussi l'inexactitude. Il prenait 20 grammes de terre sèche, les plaçait sur un filtre et les arrosait. Il laissait le filtre se ressuyer, puis le pesait avec la terre humide. Préalablement, il avait pesé le filtre vide, mouillé et ressuyé. Par la différence de pesée, il déterminait le poids de la terre humide, par suite la proportion d'eau retenue dans la terre sèche. Il obtenait ainsi des chiffres qui variaient de 25 p. 100 pour le sable siliceux à 190 p. 100 pour l'humus. Pour comprendre quelle erreur entachait ces résultats, il faut examiner avec un peu de soin la constitution d'une terre. Quelle que soit sa nature, elle est composée de particules, plus ou moins grosses et poreuses, séparées les unes des autres par des interstices capillaires. Ces particules retiennent l'eau à leur surface et dans leurs pores grâce à l'attraction moléculaire. Dans les interstices qui les séparent, l'eau se maintient à une hauteur verticale qui dépend des forces capillaires mises en jeu et du poids de cette eau.

Ainsi, l'eau qui s'infiltre dans un terrain est soumise à deux influences : la pesanteur et l'attraction par les grains solides. Si les interstices sont larges, il y a beaucoup d'eau pour peu de surface attractive, la pesanteur l'emporte et l'eau descend. Si, au contraire, les vides sont de dimension capillaire, l'attraction moléculaire l'emporte, elle retient l'eau ou même la fait remonter.

Considérons, avec M. Schloësing, un large tube vertical d'une hauteur de 30 à 40 centimètres, ouvert à l'extrémité supérieure, fermé à la partie inférieure par une toile tendue, liée sur ses bords. Remplissons-le d'une terre plus ou moins fine, après l'avoir préalablement rempli d'eau, et laissons l'appareil égoutter. La coloration même de la terre que laissera apercevoir le tube de verre montre que la teneur en eau va en augmentant du haut du tube vers le bas.

Le tube peut se diviser en trois parties. Dans la partie supérieure, l'humidité de la terre est uniforme et relativement faible ; dans la seconde, elle est variable, mais croissante du haut vers le bas ; dans la troisième, elle est encore uniforme, mais beaucoup plus forte que dans la première. Dans la partie supérieure, les pores seuls sont pleins, les canaux capillaires sont vides ; dans la partie inférieure, les uns et les autres sont gorgés d'eau. Comme les particules qui constituent la terre ne

sont pas toutes de même grosseur, elles laissent entre elles des canaux capillaires plus ou moins étroits, qui retiennent l'eau à une hauteur plus ou moins grande, d'autant plus grande qu'ils se rapprochent du bas du tube. C'est ce qui explique qu'entre les deux parties extrêmes du tube, d'une teneur à peu près uniforme en eau, se trouve une région où l'humidité va en croissant du haut vers le bas.

Vers le haut du tube, la force capillaire n'aura pas pu retenir, jusqu'à cette hauteur, le poids trop grand de l'eau qui remplissait les petits canaux interstitiels. Cette partie de la terre soumise à l'expérience n'aura gardé que l'eau qui a pénétré dans les pores des molécules ou qui recouvre leur surface. Au contraire, la terre du bas sera saturée d'eau, grâce aux canaux interstitiels qui en sont gorgés. La terre du haut sera *ressuyée*; celle du bas se trouvera dans les conditions où était celle que Schübler avait jetée sur son filtre. C'est à M. Schlösing que nous empruntons les idées qui précèdent. Voici un tableau qui présente comparati-

Influence des conditions expérimentales dans lesquelles on détermine le pouvoir d'imbibition d'une terre.

(Les nombres indiquent les taux pour 100 d'eau retenue.)

	DÉTERMINATION sur un filtre. (Procédé Schübler).		DÉTERMINATION dans un tube après ressuyage.
Sable fin.....	20		7,3
Sable grossier..	16		3,0
	Terre délayée dans l'eau, puis jetée sur le filtre.	Terre émietée sur le filtre, puis arrosée avec de l'eau.	
Terre argileuse.	47,7	49,0	33,0
Terre argilo-cal- caire meuble..	43,5	51,7	30,0
Terre argilo-sa- bleuse.....	45,7	54,7	37,5
Terre de forêt (sable très fin).	57,7	61,8	42,0
Calcaire sableux.	40,0	41,0	32,0

vement les résultats que lui ont fournis les procédés de Schübler et le ressuyage en tubes appliqués tous deux aux mêmes terres.

Ce tableau montre que le procédé suivi par Schübler conduit à des résultats exagérés. Ceux-ci sont communément reproduits dans les livres et notamment dans ceux qui traitent d'hydraulique agricole, de drainage ou d'irrigation. Aussi avons-nous tenu à leur opposer les chiffres trouvés par M. Risler et par M. Schlöesing.

Si peu conformes aux conditions naturelles que soient les déterminations de Schübler, de Meister et d'autres auteurs, elles montrent cependant que les terres peuvent contenir des quantités d'eau maxima et minima, maxima dans les parties inférieures des tubes d'expérience de M. Schlöesing, là où les espaces capillaires et les particules sont gorgés d'eau, minima dans la partie supérieure où la terre est ressuyée.

Ces quantités correspondent à ce que l'on appelle la *capacité totale pour l'eau* (ou maxima) et la *capacité absolue* (ou minima). Mais ce que nous avons dit des observations de M. Schlöesing montre combien sont variables avec les conditions de l'expérience ces deux termes, surtout le premier. Ils n'auront quelque valeur que sous la réserve expresse de procéder chaque fois dans des conditions rigoureusement semblables.

Les agronomes qui ont suivi Schübler se sont efforcés de perfectionner la méthode employée au laboratoire en prélevant des échantillons dans des conditions identiques et en les traitant rigoureusement de même ; puis, au lieu de mettre la terre dans des entonnoirs ou des tubes de grande longueur, ils l'ont placée dans des appareils de petit calibre. Hilgard est l'un de ceux qui emploient la meilleure technique. Il se sert d'une boîte cylindrique en laiton de 1 centimètre de profondeur et de 6 centimètres de diamètre.

Nous n'entrerons pas dans les détails du procédé. Nous dirons simplement, d'après M. Hall (1), qu'il sature d'eau la terre que contient cette boîte en l'immergeant jusqu'à 1 milli-

(1) A.-D. HALL, Le sol en agriculture, traduction française par A. DEMOLON, ingénieur agronomie, professeur à l'École pratique d'agriculture du Chesnoy. J.-B. Baillière et fils, Paris, 1905.

mètre au-dessus du fond percé de trous dans l'eau distillée. Il la laisse égoutter, et, par des pesées faites avec certains soins, avant et après l'immersion, il obtient la *capacité totale*. Pour déterminer la *capacité absolue*, il met cette même couche de terre (1 centimètre), qui a été saturée d'eau, en contact avec une couche de terre d'un demi-centimètre d'épaisseur, sèche, mais contenant toute son eau d'hygroscopicité. Il recommence cette opération jusqu'à ce que la terre sèche reste une demi-heure environ à la surface sans manifester par un changement de couleur une absorption d'eau. Arrivé à la fin, il pèse la boîte et son contenu, puis il sèche à l'étuve et repèse. C'est ainsi qu'ont été obtenus les chiffres portés dans le tableau suivant. On voit que, si la *capacité totale* ne varie pas dans une très large mesure avec les diverses terres, la *capacité absolue* se meut entre des limites beaucoup plus étendues.

	CAPACITÉ TOTALE ou maxima p. 100		CAPACITÉ ABSOLUE ou minima p. 100	
	en poids.	en volume.	en poids.	en volume.
Sable grossier.....	31,0	50,5	15,3	22,2
Terre franche.....	33,5	55,8	22,6	35,4
— forte.....	49,6	67,6	36,1	45,6
— sablo-humifiée.	60,8	63,2	53,7	52,8

Dans tous les cas, ces chiffres sont plus élevés que ceux que l'on obtient, comme l'a recommandé M. Risler (Voy. p. 48), en prélevant des échantillons de terre *en place* de 10 en 10 centimètres de profondeur, et ces derniers chiffres sont les seuls qui répondent aux conditions réelles.

Mais, au point de vue des irrigations et du drainage, ce n'est pas tant la valeur absolue des résultats qui intéresse le praticien que leur valeur relative. Et il faut surtout s'inquiéter de placer les essais dans des conditions aussi rigoureusement comparables que possible.

M. Kopecky, directeur de la Station agronomique de Prague, a imaginé un appareil qui répond, dans une



certaine mesure, à la critique qui reproche aux expériences de laboratoire de ne pas s'exercer sur les terres en place.

Son appareil (fig. 1) se compose d'un tube d'acier de 20 centimètres de haut, dont les bords, à la partie inférieure, sont amincis, afin qu'ils pénètrent plus facilement dans le sol. La partie supérieure porte un chapeau qui sert de fermeture. Il est muni d'une hampe sur laquelle on pèse, afin d'enfoncer l'appareil dans la terre comme on ferait d'une sonde. Le tube d'acier contient, superposés, trois cylindres en laiton de 50^{mm},5 de diamètre ayant respectivement pour hauteur 35^{mm},4, 100 millimètres et 35^{mm},4. Ces cylindres glissent à frottement doux dans le tube, mais le chapeau de fermeture les maintient immobiles.

Lorsque l'on enfonce cette sonde dans le sol, les trois cylindres se remplissent. On retire du sol la sonde, puis on ferme les deux extrémités du tube avec des toiles métalliques que l'on fixe à l'aide de bagues en caoutchouc. On transporte l'appareil au laboratoire.

Là, on enlève avec soin, en faisant glisser les cylindres de laiton, les échantillons de terre. On rejette celui du haut, on conserve le cylindre du milieu pour faire des essais sur la perméabilité. Le cylindre inférieur est placé dans une assiette contenant de l'eau, de manière que la terre s'en imbibé complètement. Il est ensuite placé sur de la terre pulvérisée et sèche de même provenance que celle qu'il contient, afin qu'il se ressuie. Lorsque son poids ne varie plus, il renferme la quantité d'eau qui correspond à la *capacité absolue de la terre pour l'eau* ; alors on le sèche à 100° et on le pèse de nouveau. La différence des deux poids est égale au poids de l'eau p que la terre contient. Soient : P le poids à 100° C. de la terre ; V son volume, calculé d'après celui du cylindre dans lequel elle

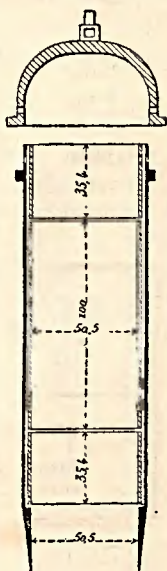


Fig. 1.

est contenue et qui est égal à 70 centimètres cubes ; C_p la capacité absolue en poids ; C_v la capacité absolue en volume. On a (1) :

$$C_p = \frac{100 \times p}{P}, \quad C_v = \frac{100 \times p}{70}.$$

Cette méthode, qui consiste à saisir le sol tel qu'il est en place, présente de réels avantages. Elle est conçue judicieusement.

Mais l'appareil a l'inconvénient de ne fonctionner convenablement qu'en un sol bien homogène, fin. Il ne s'enfonce que très difficilement dans les sols caillouteux, comme nous en avons tant en France. Aussi, MM. Müntz, Faure et Lainé lui ont-ils substitué un dispositif de leur invention pour déterminer la perméabilité des sols en place. Nous allons le décrire.

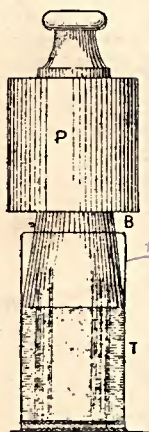


Fig. 2. — Appareil de MM. Müntz, Faure et Lainé pour déterminer la capacité des terres pour l'eau.

Pour déterminer la *capacité pour l'eau*, MM. Müntz, Faure et Lainé passent au tamis de 2 millimètres la terre séchée à l'air et l'introduisent dans un tube de verre T (fig. 2), ayant une section intérieure de 10 centimètres carrés. Ce tube est fermé à une extrémité par une toile métallique fine n° 120 bien tendue. Il porte un trait à 5 centimètres du fond, limitant par conséquent une capacité de 50 centimètres cubes. On le remplit de la terre à examiner, par petites portions à la fois, tassées à l'aide d'un bouchon entrant à frottement dur et que l'on charge d'un poids de 1 kilogramme. Le tube renfermant 50 centimètres cubes de terre, on le pèse, et comme, d'autre part, on a déterminé l'eau hygrométrique que la terre, séchée à l'air, contenait, on peut en déduire le poids de terre sèche P_s .

On sature alors d'eau cette terre. Et pour cela on plonge le bas du tube de quelques millimètres dans une cuvette d'eau.

(1) A.-D. HALL et A. DEMOLON, *Le sol en agriculture*, 1905.



Celle-ci monte par capillarité. On laisse ainsi la terre s'imprégner durant vingt-quatre heures. Puis on la ressuie en la mettant en contact avec de la terre sèche de même nature séchée et tamisée jusqu'à ce qu'elle ne perde plus de poids. On la pèse et on détermine un second poids P_p .

Puis, comme en s'hydratant et en se ressuant la terre a pu changer de volume, on la tasse de nouveau à l'aide du bouchon surmonté d'un poids de 1 kilogramme. On en mesure le volume V .

Le poids de l'eau retenu par l'unité de volume de terre, ou capacité de l'eau en volume, est donné par la formule :

$$C_v = \frac{P_p - P_s}{V}.$$

Le pouvoir d'imbibition des terres, telles qu'elles se comportent en place, est évidemment en rapport direct avec la totalité des espaces lacunaires, des vides qu'elles renferment par unité de volume; la totalité de ces vides forme ce que l'on appelle la *porosité*.

On détermine le volume des espaces vides, la *porosité*, en comparant entre elles la *densité absolue* et la *densité apparente* de la terre. L'étude du pouvoir d'imbibition des sols nous conduit donc à définir ces densités.

La *densité absolue* D_r ou *réelle* de la terre se mesure par la méthode dite du flacon sur un volume déterminé de terre, soigneusement émiettée, tassée et dont on a calculé la teneur en eau par sa dessiccation à 100° C. Environ 10 grammes de terre sont séchés à l'étuve et pesés; on obtient un poids P . On les introduit dans un flacon à densité de 50 centimètres cubes de capacité, que l'on remplit d'eau distillée, en ayant soin de délayer parfaitement la terre dans l'eau, afin d'éliminer toute trace d'air. On pèse et on obtient un poids p . Au préalable on a déterminé le poids p' du flacon simplement rempli d'eau distillée.

La densité de la terre est :

$$D_r = \frac{P}{p - p'},$$

Elle varie peu avec les différentes terres de composition physique normale; elle oscille autour de 2,65.

La *densité apparente*, D_a , est le poids de l'unité de volume de la terre avec les vides qu'elle contient. La plupart des auteurs la



déterminent en remplissant un vase métallique de capacité connue avec la terre donnée ; on la tasse doucement ; on nivelle la surface avec une règle et l'on pèse. Du poids trouvé on retranche la quantité d'eau contenue dans la terre, quantité qui a été calculée par la dessiccation d'un échantillon à 100° C. La différence divisée par le volume donne la densité apparente.

Mais cet émiettement de la terre, puis son tassement, ont pu modifier l'arrangement des particules, diminuer la porosité. Il semble préférable de déterminer le poids d'un certain volume de terre pris en place. C'est ce que fait M. Garola en se servant d'une sonde cylindrique de 0^m,05 de diamètre. C'est aussi ce que fait M. Kopecky avec l'appareil que nous avons décrit.

Il pèse l'échantillon de 70 centimètres cubes qu'il a prélevé dans le sol et retranche de son poids celui de la quantité d'eau qu'il contient, quantité déterminée à part en desséchant à 100°C. La différence divisée par 70 donne la densité apparente.

MM. Müntz, Faure et Lainé, se servant de l'appareil représenté par la figure 2, calculent la densité apparente à l'aide de la formule suivante :

$$D_a = \frac{P_s}{V}$$

et la capacité absolue pour l'eau en poids C_p est fournie par celle-ci :

$$C_p = \frac{C_v}{D_a} \quad C_p = \frac{C_r}{D_a}$$

Voici quelques densités apparentes, d'après M. Hall :

	DENSITÉ APPARENTE.	POIDS par mètre cube.
		Kilos.
Terre argileuse.....	1,062	1 115
— argilo-siliceuse.....	1,279	1 344
Sous-sol argilo-siliceux.....	1,18	1 238
Terre franche.....	1,122	1 283
Sous-sol d'une terre franche...	1,144	1 201
Terre sablo-argileuse.....	1,225	1 208
— sablo-humifère.....	0,782	823
— sablonneuse.....	1,266	1 330

La densité réelle des terres étant en moyenne de 2,65, on voit quelle différence la sépare de la densité apparente.

Ce tableau montre bien que, contrairement à l'acception courante, ce ne sont pas les terres les plus argileuses qui sont les plus *lourdes*. Les expressions de terres *lourdes* ou de terres *légères* correspondent au plus ou moins de résistance que les sols opposent aux instruments aratoires, et c'est tout.

Quant au volume, v , représenté par les espaces vides contenus dans l'unité de volume ou *porosité*, il est donné par l'expression suivante, où D_r et D_a représentent les densités réelle et apparente de la terre :

$$v D_r = D_r - D_a, \quad v = \frac{D_r - D_a}{D_r}.$$

Et la porosité P exprimée en p. 100 du volume :

$$P = \frac{100(D_r - D_a)}{D_r}.$$

Si, pour une certaine terre, $D_r = 2,58$, $D_a = 1,34$,

$$P = \frac{100(2,58 - 1,34)}{2,58} = 48.$$

La porosité est d'autant moindre que la terre est plus tassée. Elle varie également dans d'assez larges limites selon la constitution de la terre. Par exemple, les terres argileuses ont une porosité très grande, tandis que les terres sableuses non argileuses, que l'on appelle souvent « terres légères », ont une porosité beaucoup plus réduite.

M. Hall estime que, dans les sols ordinaires, l'espace laeunaire varie depuis 25 ou 30 p. 100 dans les sables grossiers de texture uniforme, jusqu'à un peu plus de 50 p. 100 dans les argiles compactes.

M. Garola a constaté qu'il variait en volume de 38,8 à 47 p. 100, suivant l'origine géologique. La moyenne s'établirait ainsi à 40 p. 100.

La notion de la porosité conduit immédiatement à celle de la *capacité pour l'air*, qui joue un rôle important dans les questions qui nous occupent.

Par *capacité pour l'air*, on entend le volume d'air qui subsiste dans la terre lorsque sa capacité absolue en volume pour l'eau est satisfaite. On la mesure donc en défalquant du chiffre qui représente la porosité celui qui mesure la capacité absolue pour l'eau. En désignant par C_a la capacité pour l'air, on a, en conservant les notations précédentes :

$$P = C_a + C_v, \quad C_a = P - C_v.$$

Soit une terre dont la porosité est égale à 48 p. 100 et la capacité absolue pour l'eau en volume à 47,6 :

$$C_a = 48 - 47,6 = 0,40 \text{ p. } 100.$$

M. Kopecky considère que la capacité pour l'air des terres à céréales doit être de 10 à 18 p. 100 au minimum et de 6 à 10 p. 100 pour les prairies.

La capacité pour l'air est très faible dans les terres dites *asphyxiantes*. Lorsque l'on veut arroser les terres, il faut le faire avec des précautions particulières. Elles sont d'ailleurs très peu perméables ; nous verrons qu'elles sont généralement formées de sable non argileux à éléments extrêmement fins.

Les chiffres que nous avons donnés plus haut, ceux que tous les observateurs qui se sont occupés de la question ont trouvés, montrent que l'espace vide ou la porosité dépend du degré de finesse des particules. Il est facile de le comprendre. Les espaces vides élémentaires dont la mesure constitue la porosité seront d'autant plus grands que la surface qui les limite est plus considérable. A poids égal de terre, cette surface sera d'autant plus grande que les particules supposées sphériques seront plus petites.

On peut donc avancer que *l'espace lacunaire, ou la porosité, est en relation directe avec le nombre des particules terreuses contenues dans un volume ou dans un poids de terre déterminé*. Plus ces particules seront nombreuses, sous le même volume ou le même poids, plus leur surface sera considérable et, par conséquent, la porosité. Il est donc intéressant d'évaluer le nombre et la surface de ces particules terreuses. On ne peut évidemment le faire que d'une manière très grossière. Aussi



ne faut-il pas donner une valeur absolue aux chiffres que l'on a obtenus, mais n'y voir que des images qui montrent l'importance de la division, de la finesse des éléments terreux au point de vue des propriétés physiques des sols.

L'analyse mécanique permet de séparer les éléments qui composent les terres : en pierres, sables, limon et argile, dont on peut mesurer la grandeur. C'est ainsi qu'on désigne sous le nom de pierres ou graviers les éléments qui sont retenus par un tamis en laiton à mailles carrées de 1 millimètre de côté.

Les grains qui traversent le tamis ont donc au plus 1 millimètre de diamètre, en admettant qu'ils soient à peu près sphériques. Les plus fins peuvent descendre jusqu'au diamètre de $\frac{1}{1\,000}$ de millimètre. L'argile colloïdale elle-même ne présente au microscope ordinaire, quand elle est à l'état de diffusion, aucune forme visible. Entre ces limites, on peut grouper les grains en trois catégories principales : le sable proprement dit, dont les grains les plus fins n'ont pas plus de $\frac{50}{1\,000}$ de millimètre de diamètre ; le limon, dont les dimensions sont comprises entre 50 et $\frac{5}{1\,000}$ de millimètre, et l'argile brute, dont les grains ont moins de $\frac{5}{1\,000}$ de millimètre de diamètre.

Pour déterminer le nombre des particules contenues dans une terre, M. Garola divise le sol étudié en lots de dimensions finies, telles qu'elles ont été précédemment établies. En supposant que les grains soient sphériques, si l'on désigne par d leur diamètre moyen, et par D la densité de la matière terreuse, le nombre des grains N que renferme 1 gramme d'un lot quelconque est égal à :

$$\frac{6}{\pi d^3 D}$$

Si l'on applique cette formule aux lots qui ont été précédemment définis, on obtient pour chacun d'eux :



	Nombre de grains par gramme.
Graviers (0 ^{cm} ,2 de diamètre).....	90
Sables (diamètre moyen 0 ^{cm} ,0323).....	4 980
Limons (— 0 ^{cm} ,00273).....	34 650 000
Argile brute (— 0 ^{cm} ,000255).....	43 462 030 000

Connaissant la quantité qu'un poids déterminé de terre renferme de ces différents éléments, on arrive facilement à connaître le nombre de grains que cette terre contient elle-même. M. Garola a trouvé ainsi que le limon d'Archevilliers renferme 9 236 259 317 grains par gramme et qu'une argile à silex de Poiffonds en contient 16 401 688 134.

Comme c'est de l'argile brute (diamètre des grains = 0^{cm},000 255) dont dépend presque entièrement le nombre des grains que renferme une terre cultivée, cela revient à dire comme précédemment qu'une terre est d'autant plus poreuse qu'elle contient plus d'argile.

On peut déterminer aussi par le calcul la surface de tous ces grains; elle varie en raison inverse du carré du diamètre de chacun d'eux. Mais le calcul ne peut donner qu'une idée très grossière de ce qu'elle est, d'abord parce qu'il suppose que tous les grains sont rigoureusement sphériques, et qu'alors même qu'ils le seraient et qu'on pourrait tenir compte de leur répartition exacte — et c'est impossible — leur surface totale ne correspondrait pas à la surface effective au point de vue qui nous occupe ici : l'absorption de l'eau ou de l'air, le contact avec les solutions nutritives et avec les racines. Cette surface effective est en effet beaucoup plus petite que la surface totale, puisque les contacts des particules entre elles devraient en être déduits.

Quoi qu'il en soit, s'il s'agit d'une terre sablonneuse, à particules toutes indépendantes, on peut déduire leur surface de la quantité d'eau ou de gaz qu'un volume déterminé de cette terre contient.

C'est ainsi que King a obtenu les résultats qui suivent :



	VOLUME des vides p. 100.	SURFACE des éléments par mètre cube.
Argile très fine.....	52,9	64 ^{ha} ,27
Terre argileuse	48,0	40 ^{ha} ,89
— forte, élément fin.....	49,2	26 ^{ha} ,08
— franche	44,1	17 ^{ha} ,20
— argilo-siliceuse.....	38,8	13 ^{ha} ,65
— sableuse.....	32,5	4 ^{ha} ,07

Ainsi la surface des éléments atteint des chiffres extrêmement grands. En la réduisant à 1 hectare par mètre cube, pour une terre franche ordinaire, on évaluerait à 4 000 hectares la surface des éléments terreux renfermés dans 1 hectare cultivé sur une épaisseur de 0^m,40 ! chiffre qu'on ne peut évidemment pas accepter comme répondant à une réalité, mais chiffre curieux qui fait image, qui donne un aperçu démesurément grossi de l'intérêt des façons aratoires, des ameublissements. Ceux-ci divisent la terre en particules aussi menues que possible, augmentent la surface de contact entre le sol ainsi émietté et l'oxygène qui circule dans la terre, l'acide carbonique, les solutions salines, etc.

2. — Perméabilité.

A côté du pouvoir d'imbibition des sols, de leur capacité pour l'air, la perméabilité est l'une des propriétés physiques qui intéressent le plus le drainage et les irrigations. *C'est la vitesse plus ou moins grande avec laquelle un volume d'eau donné, compris sous une hauteur déterminée, pénètre dans le sol et y circule sous l'influence de la pesanteur et des forces capillaires.* On pourrait supposer, *a priori*, que la perméabilité doit aller en croissant avec la capacité des terres pour l'eau, avec la porosité et par conséquent avec le degré de finesse des particules. Il n'en est rien. C'est que la perméabilité ne dépend pas tant du volume global des intervalles capillaires que de leur diamètre moyen. La physique nous a



montré combien l'eau se meut difficilement dans les tubes capillaires. Et même, lorsque les index liquides sont séparés par des intervalles remplis d'air, de manière à former ce que l'on a nommé les *chapelets de Jamin*, il faut une pression considérable pour les mettre en mouvement. La perméabilité — l'expérience le démontre — dépend du diamètre moyen des canaux capillaires qui séparent les particules terreuses et de la hauteur de la couche d'eau qui tend à pénétrer dans la terre.

Par conséquent, elle sera autant plus faible, à hauteur égale de la couche d'eau pénétrante, que les particules seront plus fines, d'autant plus grande qu'elles seront plus grosses. Il est très facile de le prouver en disposant dans des tubes de 35 centimètres de hautes colonnes de terre et de sable de composition physique déterminée surmontées d'une couche d'eau de 0^m,05 de hauteur. Dès qu'un sol contient des traces d'argile, la rapidité de la filtration diminue. Elle augmente au contraire avec la prédominance des éléments grossiers.

M. Kopecky a étudié en Bohême la perméabilité des sols au point de vue du drainage. M. de Ville-Chabrolle, ingénieur agronome, a rendu compte, dans les *Annales de l'Institut agronomique*, de ses travaux. M. Kopecky lie l'écartement et la profondeur auxquels il faut placer les drains à plusieurs facteurs, parmi lesquels le degré de finesse des particules terreuses joue un rôle très important. Et, pour arriver à un degré d'approximation suffisant, il sépare les éléments qui constituent la terre en sept catégories :

Éléments de diamètre	1°	< 0 ^{mm} ,01.....	Particules décantables.
	2°	compris entre 0 ^{mm} ,01 et 0 ^{mm} ,05..	Poussières.
	3°	— 0 ^{mm} ,05 et 0 ^{mm} ,10.	Poussière sableuse.
	4°	— 0 ^{mm} ,10 et 0 ^{mm} ,30.	Sable. {
	5°	— 0 ^{mm} ,30 et 0 ^{mm} ,50.	
	6°	— 0 ^{mm} ,50 et 1 ^{mm} ,00.	
	7°	— 1 ^{mm} ,00 et 2 ^{mm} ,00.	
			Sable fin. Sable demi-fin. Sable grossier.

Il faut du reste pousser l'analyse plus loin en allant jusqu'à la détermination des éléments qui sont dosés sous le nom d'argile par la méthode Schloësing et qui ont moins de 0^{mm},002 de diamètre.

Enfin, il faut encore avoir égard à la teneur de la terre en



calcaire qui augmente la perméabilité; en humus et en fer, qui la diminuent.

Nous reparlerons d'ailleurs de ces observations à propos du drainage. Pour effectuer la séparation des éléments terreux dans les sept divisions que nous avons énumérées, M. Kopecky a imaginé un appareil qui se trouve aujourd'hui dans la plupart des laboratoires où l'on s'occupe de pédologie. Nous en donnerons une brève description.

Les essais portent sur 50 grammes de *terre fine*.

Par *terre fine*, M. Kopecky entend la terre qui passe à travers un tamis de 2 millimètres.

Rappelons les divisions dans lesquelles les éléments sont répartis :

- | | | |
|------|--|---|
| I. | Éléments de diam. infér. à 0 ^{mm} ,01 | ou particules décantables. |
| II. | — | de 0 ^{mm} ,01 à 0 ^{mm} ,03 ou poussière. |
| III. | — | de 0 ^{mm} ,03 à 0 ^{mm} ,10 ou poussière sableuse. |
| IV. | — | supérieur à 0 ^{mm} ,10 ou sable. |

La quatrième catégorie comprend les quatre subdivisions suivantes :

- | | |
|------------------------------------|--|
| 1 ^o Sable très fin..... | De 0 ^{mm} ,1 à 0 ^{mm} ,3 |
| 2 ^o Sable fin..... | 0 ^{mm} ,3 à 0 ^{mm} ,5 |
| 3 ^o Sable demi-fin..... | 0 ^{mm} ,5 à 1 ^{mm} ,00 |
| 4 ^o Sable grossier..... | 1 ^{mm} ,0 à 2 ^{mm} ,00 |

L'appareil (fig. 3) construit par Hunek, à Prague, se compose de quatre cylindres de verre II, III, IV, V, maintenus dans un cadre de bois, reliés entre eux par des tuyaux de verre et des raccords en caoutchouc. Il est traversé par un courant d'eau régulier qui circule de bas en haut dans chacun de ces cylindres et se rend à sa sortie de l'appareil dans le verre I. Le diamètre de chacun des cylindres est calculé de manière que le courant d'air y acquiert une vitesse telle que les éléments de la catégorie correspondante s'y déposent et que les autres soient entraînés dans le cylindre suivant.

On place 50 grammes de terre fine, soigneusement délayée à l'eau, dans le plus petit des cylindres (V). L'appareil étant complètement rempli d'eau, on y dirige, comme l'indique la flèche placée à droite de la figure, un courant



d'eau dont on maintient exactement le débit constant. Il a sa vitesse maxima dans le plus petit cylindre V; c'est là que se déposeront les éléments les plus gros, tandis que les poussières se déposeront dans le vase II et les particules décan-
tables dans le vase I. L'opération dure environ quatre heures. On l'arrête lorsque l'eau qui se rend dans le vase I est devenue claire ou n'est plus que légèrement trouble. Alors on recueille

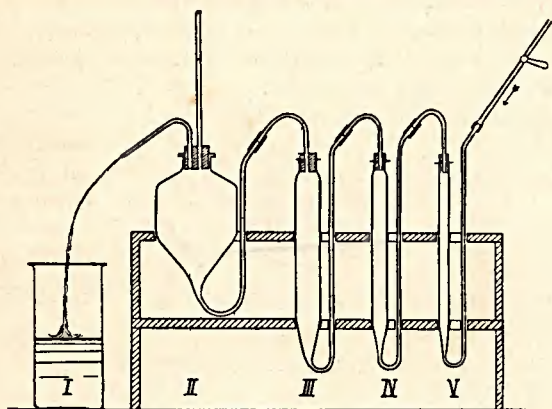


Fig. 3. — Appareil de Kopecky pour l'analyse mécanique des terres.

soigneusement les sédiments qui se sont déposés dans les différents cylindres; on les sèche et on les pèse. On obtient par différence, sur les 50 grammes de terre fine qui ont servi à l'essai, le poids des particules décan-
tables.

On conçoit, sans qu'il soit nécessaire d'insister, tout l'intérêt que présente pour l'ingénieur chargé de travaux de drainage ou d'irrigation la connaissance de la perméabilité des terres qu'il doit améliorer. Malheureusement l'appréciation de cette qualité des sols est très difficile. Et le côté délicat de sa recherche vient encore de ce que les terres en place et les terres traitées au laboratoire se comportent de façon différente.

Evidemment, l'origine géologique de la terre joue un rôle important; mais cependant, dans la pratique, on trouve pour



des points tout à fait voisins des différences énormes. C'est que la moindre fissure du sol, le passage d'un ver, d'une racine qui s'est pourrie, la présence d'une large pierre sont autant de causes d'erreurs.

On peut agir artificiellement sur la perméabilité. Le tassement des terres la diminue évidemment, puisqu'il resserre les espaces lacunaires.

Les solutions salines étendues exercent une action très remarquable sur la texture du sol et, par suite, sur sa perméabilité.

Des recherches que M. Garola a poursuivies à ce sujet, il résulte que les sels de soude diminuent la perméabilité en donnant au sol plus de compacité.

Les autres sels favorisent au contraire la perméabilité et, par conséquent, l'ameublissement des terres. Les sels de chaux ont donné surtout à M. Garola des résultats remarquables sous ce rapport.

Les facteurs qui interviennent dans la perméabilité jouent un rôle dont on saisit toute l'importance lorsqu'il s'agit de drainage ou d'irrigation.

En terminant, ici, ce que nous avons à dire du pouvoir d'imbibition et de la perméabilité, observons qu'au fond toutes les méthodes d'analyse au laboratoire que nous avons signalées reviennent à déterminer le degré de finesse des particules et les proportions suivant lesquelles les éléments de différentes grosseurs entrent dans un même poids ou volume de terre. C'est là le procédé depuis longtemps préconisé par M. Schloësing; c'est celui qui restera la base de toutes les recherches nouvelles que l'on poursuivra.

MM. Müntz, Faure et Lainé attribuent à la perméabilité une influence dirimante sur les questions qui se rapportent au drainage et à l'irrigation des terres. De 1905 à 1912, M. Müntz, d'abord en collaboration avec M. Faure, puis avec M. Lainé, a poursuivi une série de recherches qui montrent combien est fondée cette opinion. Le but pratique que ces savants poursuivaient était d'établir une sorte d'échelle où les degrés de perméabilité indiqueraient les doses d'arrosages. La tâche est extrêmement ardue, car elle dépend de nombreux facteurs où le climat joue un rôle important. *A priori*, les



conclusions des expériences n'intéressent donc que des régions déterminées et il y a lieu de répéter les essais sur les territoires où les conditions de température, de pluviosité, etc., ne sont pas les mêmes.

Afin d'apporter dans leurs recherches toute la précision possible, M. Müntz et ses collaborateurs ont établi parallèlement, pour les mêmes terres, des essais sur le terrain et au laboratoire. L'expérience leur a du reste montré que les premiers ont fourni, en général, des précisions bien supérieures à celles des seconds.

Les recherches poursuivies par MM. Müntz, Faure et Lainé comportent donc dans chacune des régions qu'ils ont étudiées :

1° La mesure de la perméabilité sur le terrain. C'est la détermination la plus probante ;

2° L'examen des terres au laboratoire.

*1° MESURE DE LA PERMÉABILITÉ PAR LE
PROCÉDÉ DE MM. MUNTZ, FAURE ET LAINÉ,
DES TERRES SUR LE TERRAIN .*

Observations sur le terrain.

MM. Müntz, Faure et Lainé se sont servis, en le perfectionnant, de l'appareil suivant qui est dû à Heinrich.

Il consiste en un cylindre de tôle d'acier dont le bas, sur sa circonférence, est aiguisé, et la partie supérieure munie de deux poignées. Son diamètre a 25 centimètres, sa hauteur, 22. En l'appuyant sur le sol et le tournant en même temps sans saccade par un mouvement régulier, on arrive à l'enfoncer de 7 centimètres, son bord supérieur dépassant de 15 centimètres le niveau du terrain.

On l'emplit alors d'eau et, à l'aide d'une petite règle divisée en centimètres que l'on accroche à la paroi, on observe de quelle quantité l'eau baisse en un temps donné.

Il est facile de voir que cet appareil réduit à cette forme simple employé dans des conditions d'expériences aussi peu précises ne peut donner de résultats dignes de confiance. Ils varieront évidemment avec l'état de culture du sol, suivant qu'il sera ou non recouvert de végétation, qu'il sera ou non labouré, qu'il sera sec ou humide, etc. En outre, l'eau péné-



trera d'autant plus vite dans la terre que, dans le cylindre, son niveau sera plus élevé, en sorte que la perméabilité semblera diminuer au fur et à mesure que l'essai se prolongera.

Aussi MM. Müntz, Faure et Lainé ont-ils été amenés à conclure, dès leurs premières recherches, qu'il convenait d'opérer toujours dans des conditions comparables, et en particulier de :

1° Maintenir constant le niveau de l'eau dans le cylindre ;

2° Noter toujours l'état de la terre observée. Est-elle en jachère ; est-elle nue ou recouverte de végétation, et de laquelle ; est-elle labourée ou non, etc. ?

3° Remarquer si elle est au préalable imprégnée d'eau ; s'il y a eu des pluies récentes, si elle est sèche ;

4° Noter la rapidité d'écoulement dans l'état où se trouve la terre, en tenant compte surtout de cette rapidité d'écoulement lorsque le sol est imprégné d'eau, comme il le serait après une forte pluie ou après un arrosage. C'est à ce moment que s'établit un régime d'écoulement permanent et régulier, permettant les comparaisons. En outre, il fallait remédier aux causes d'erreur provenant de l'ébranlement du sol produit par la pose de l'appareil dans des terres caillouteuses et du changement de niveau de l'eau dans le cylindre.

Les expérimentateurs ont donc perfectionné l'appareil de la manière suivante :

D'abord, ils ont diminué le diamètre du cylindre. L'appareil est ainsi plus maniable et s'enfonce dans le sol sans l'ébranler autant. Puis, ils ont imaginé un dispositif pour maintenir le niveau de l'eau constant.

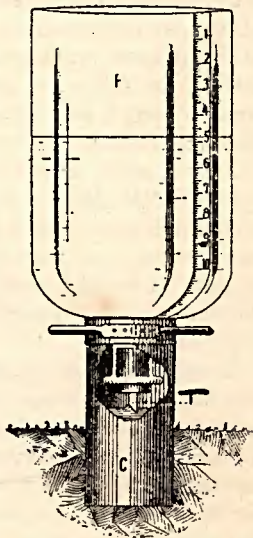


Fig. 4. — Appareil de MM. Müntz, Faure et Lainé pour mesurer la perméabilité des terres en place.

Le cylindre (fig. 4), construit en tôle d'acier forte rivée ou mieux soudée au chalumeau à acétylène et oxygène, a 25 centimètres de hauteur et 112 millimètres de diamètre intérieur ; sa section est donc voisine de 1 décimètre carré, ses bords inférieurs sont tranchants. Ses bords supérieurs, renforcés, sont munis de deux oreilles. Pour l'enfoncer dans le sol, on le place bien verticalement et on frappe avec un marteau après avoir interposé un morceau de bois placé suivant l'un des diamètres. On fait ainsi pénétrer le cylindre de 6 centimètres environ dans le sol. En opérant soigneusement, il ne doit pas se former de fissures.

Pour réaliser la constance du niveau de l'eau dans le cylindre, MM. Müntz, Faure et Lainé disposaient au-dessus un flacon jaugeur F de 5 à 10 litres de capacité. Ce flacon porte une graduation en litres et en décilitres à partir du fond. Il est muni d'un bouchon en caoutchouc à un trou et d'un tube d'écoulement T de 1 centimètre de diamètre intérieur, environ, taillé en biseau.

Le cylindre étant en place, on introduit en son centre, posé à plat sur le sol, un disque en bois de 3 centimètres d'épaisseur. Le flacon jaugeur, vide, muni de son bouchon et du tube d'écoulement, est renversé sur le cylindre et le tube de verre enfoncé de façon que, le bas du flacon reposant bien d'aplomb sur le cylindre, l'extrémité biseautée du tube de verre T affleure le disque de bois. L'appareil ainsi réglé, on enlève le flacon et le disque. Puis on remplit d'eau le premier, on adapte le bouchon et l'on place le flacon bien renversé sur le cylindre. L'eau sort par le tube de verre et se répand dans l'intérieur du vase où elle atteint une hauteur uniforme de 3 centimètres qui restera constante. En effet, lorsque l'eau ayant pénétré en partie dans la terre, son niveau baisse au-dessous de 3 centimètres, immédiatement une bulle d'air pénètre dans le flacon et il s'en écoule une quantité d'eau justement égale à celle qui vient de disparaître.

Le flacon porte, nous l'avons dit, une graduation en litres et fractions de litre qu'on lit sans le déplacer. La lecture peut commencer dès que l'eau a atteint 3 centimètres d'épaisseur. On note alors le volume d'eau qui s'écoule dans un temps déterminé,



à des intervalles rapprochés, un quart d'heure par exemple.

Si une fissure s'était produite, elle ne tarderait pas à se colmater. Il faudrait attendre alors quelques minutes avant de faire les premières lectures.

L'eau s'écoule d'abord assez vite. Puis un régime s'établit. C'est la période où les chiffres sont réellement intéressants. Ce régime est atteint rapidement lorsqu'il s'agit de terres perméables, plus lentement pour les terres argileuses. Pour les premières, les observations peuvent avoir lieu à des intervalles rapprochés et l'expérience se termine en quelques heures. Pour les secondes, il faut employer des intervalles plus éloignés et continuer quelquefois les observations jusqu'au lendemain.

Il n'est pas nécessaire d'effectuer les lectures des volumes écoulés au bout du même temps. Mais il faut toujours les ramener à l'unité qui est l'épreuve. Ainsi, pour les observations de longue durée, peut-on faire une lecture le soir et une autre le matin suivant.

On les exprime en décilitres écoulés par heure. La section du cylindre étant de 1 décimètre carré, chaque décilitre d'eau qui pénètre dans le sol correspond à une hauteur de 1 centimètre d'air par heure. Par exemple, si, lorsque le régime s'est établi, il s'écoule par heure 11,6, cela signifie qu'une hauteur d'eau de 16 centimètres a pénétré dans le sol. MM. Müntz et Lainé ont pris comme unité d'infiltration 1 centimètre par heure. S'il s'est écoulé 16 centimètres, le nombre 16 correspondra à la perméabilité du sol étudié. On dira qu'elle est égale à 16. Et ce sont là les chiffres qui représentent les degrés de l'échelle de perméabilité dont nous avons parlé.

Pour mesurer la perméabilité des terres en place, Kopecky se sert de l'appareil que nous avons décrit (Voy. p. 53). Il prélève dans le sol un cylindre de 10 centimètres de hauteur et de 5^{cm},5 de diamètre, où l'on peut considérer que la terre se trouve dans un état aussi voisin que possible de celui de la terre en place. Le grand cylindre étant extrait de l'appareil, et sa partie supérieure ayant été débarrassée de sa toile métallique, on y ajoute un cylindre de verre où l'on place de l'eau jusqu'à une hauteur déterminée. Lorsqu'elle commence



à couler à la partie inférieure, on mesure sa vitesse de filtration.

MM. Müntz, Faure et Lainé observent qu'ils ont dû renoncer en France à l'emploi de cet appareil, dont M. Kopecky s'est surtout servi dans les terres à éléments relativement fins de Bohême. Dans les sols non homogènes sur lesquels MM. Müntz, Faure et Lainé ont opéré, parsemés de cailloux et de débris végétaux, l'appareil ne peut fonctionner.

2^e EXAMEN DES TERRES AU LABORATOIRE

La perméabilité, nous l'avons dit, est en rapport très étroit avec la constitution et les propriétés physiques des terres. Les expérimentateurs ont donc cherché à établir un parallélisme, qu'ils n'ont d'ailleurs pas toujours trouvé, entre les essais directs sur le terrain et l'étude au laboratoire de ces propriétés. Et c'est ainsi qu'il conviendra sans doute de procéder lorsque l'on cherchera à établir sur des bases rationnelles l'irrigation d'un territoire. Aussi, croyons-nous devoir consacrer quelques lignes à cette partie des recherches de MM. Müntz et Lainé.

L'examen des terres au laboratoire, tel qu'ils l'ont institué, comporte :

a. L'analyse physico-chimique par les procédés Schloësing et Kopecky;

b. La mesure des propriétés physiques.

Il fournit les renseignements qui suivent :

Analyse physico-chimique (procédé de M. Schloësing) :

Sable.....	} Grossier. Fin.
Argile.....	
Humus.....	

D'ailleurs ils espéraient que l'analyse physique au laboratoire d'une terre encore inconnue pourrait un jour suffire pour retrouver sur l'échelle dont nous avons parlé l'indication approximative de sa perméabilité *in situ* et par conséquent de la quantité d'eau d'arrosage qu'il faut lui donner.

Analyse mécanique (procédé Kopecky) :



Gravier.

Sable.....	{	Grossier.
		Moyen.
		Fin.

Limon.....	{	Sableux.
		Fin.
		Très fin.

Argile.

Mesure des propriétés physiques :

Densité.....	{	Réelle.
		Apparente.

Porosité.

Capacité pour l'eau.....	{	En volume.
		En poids.

Capacité pour l'air.

Perméabilité (hauteur d'eau, exprimée en centimètres infiltrée par heure à travers une épaisseur de terre déterminée).

Nous avons déjà exposé (Voy. p. 54-58) comment les auteurs de ces expériences mesurent les densités, la porosité, la capacité pour l'air et l'eau.

Quant à la mesure de la *perméabilité* au laboratoire, ils emploient, pour faire cette détermination, le tube qui a servi aux essais précédents. Il contient la terre mouillée, puis ressuyée et tassée sous une pression de 1 kilogramme par 10 centimètres carrés. Une épaisseur constante de 2^{cm},5 d'eau étant maintenue au-dessus de la surface de la terre, on mesure la hauteur de liquide qui s'écoule en un temps donné.

L'expérience est réalisée par le dispositif représenté par la figure 5. On opère sur douze tubes à la fois. Ils sont fixés à la même hauteur sur une planche percée de trous de diamètre convenable. On y amène l'eau par les tubes *t*, *t*, qui sont reliés à un tube à 12 tubulures. Celui-ci constitue l'une des branches d'un siphon dont l'entrée plonge dans un vase *v* où de l'eau est maintenue à un niveau constant. Quand le siphon est amorcé, le niveau de l'eau dans chaque tube reste lui-même fixe. On le règle de manière qu'il soit à 2^{cm},5 au-dessus de la surface de la terre.

Prise des échantillons. — L'analyse et les mesures de laboratoire supposent, bien entendu, que les échantillons de



terres aient été prélevés avec beaucoup de méthode et de soins. Voici les recommandations que donnent à ce sujet les auteurs des expériences. Le choix des points de prélèvement suppose une étude géologique préalable du territoire. On divise celui-ci en autant de zones qu'il y a de formations géologiques et agrologiques différentes. Ces divisions étant reportées sur

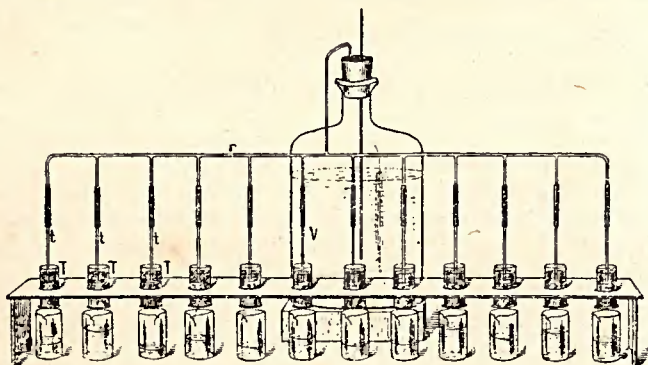


Fig. 5. — Dispositif pour mesurer la perméabilité des terres au laboratoire.

une carte à grande échelle, on peut juger de leur importance. On marque sur chacune d'elles les points de prise. Le nombre de ceux-ci varie avec l'étendue et le plus ou moins d'homogénéité des régions : composition minéralogique, nature et aspect de la végétation spontanée et des récoltes. On s'en tient d'ailleurs aux grandes lignes. Les points de prise étant fixés, on creuse une tranchée de profondeur variable suivant la nature du sous-sol. Il faut nécessairement que sa profondeur soit telle qu'elle permette d'étudier toutes les couches qui ont une influence sur la perméabilité. En général, il suffit d'aller jusqu'à 50 ou 60 centimètres. On prend un échantillon moyen de 1 kilogramme environ représentant la couche de terre envisagée. Et on le place dans un sac de terre portant un numéro d'ordre.

Résultats fournis par les expériences de MM. Müntz, Faure et Lainé. — Ces auteurs se sont livrés de 1905 à 1912 à des

centaines d'essais qui ont porté sur des terres de la région méridionale caractérisées par des aptitudes différentes à la perméabilité : dans la vallée de la Garonne, boulbènes presque imperméables ou limons argileux peu perméables ; dans le Vaucluse, alluvions modernes assez perméables, alluvions anciennes perméables ; dans la Drôme, aux environs de Valence, terrain très perméable. Ils ont établi dans toutes ces régions des stations de recherches. Des observateurs exécutaient sur place, à l'aide de l'appareil que nous avons décrit (Voy. p. 67), la détermination de la perméabilité et expédiaient au laboratoire les échantillons de terre prélevés avec les soins que nous avons indiqués.

De 1905 à 1908, les auteurs étudièrent surtout la perméabilité et les aptitudes de la terre à recevoir l'eau. A partir de 1908, ils cherchèrent à déterminer dans chaque station d'expériences le *module*, c'est-à-dire le débit sous lequel l'eau est fournie à la parcelle irriguée ; la quantité d'eau à distribuer par arrosage, l'influence sur la récolte de la répartition plus ou moins fréquente d'une même quantité globale d'eau. Nous rendrons compte des résultats qu'ils ont obtenus, plus tard, au fur et à mesure que nous traiterons les chapitres qu'ils intéressent. Nous ne parlerons ici que des premières expériences, de leur but tel que nous l'avons tout à l'heure défini.

Dès leurs débuts, MM. Müntz, Faure et Lainé ont constaté, comme il fallait bien s'y attendre du reste, qu'il existe des différences énormes, allant du simple au centuple, et bien au delà, entre les diverses terres, alors même qu'elles appartiennent à la même formation géologique, dans la rapidité avec laquelle l'eau les traverse. En comparant les chiffres fournis par les mesures avec les observations culturales, ils ont vu que les endroits où les arrosages donnent de médiocres résultats coïncident en général avec une faible perméabilité ; que là, au contraire, où les arrosages sont avantageux, la terre se laisse facilement pénétrer et traverser. C'est de là que l'idée leur est venue de proportionner les quantités d'eau à distribuer, non pas seulement à l'unité de surface, comme on le fait d'habitude, mais aussi à la perméabilité, puisque celle-ci peut servir de mesure à l'aptitude des sols à recevoir l'eau.

Et ils terminaient ainsi l'exposé des résultats de leurs pre-



mières recherches (1907). Il semble que les terres peuvent se classer en trois catégories :

1° Celles qu'on peut regarder comme *presque imperméables*, c'est-à-dire dans lesquelles l'eau ne pénètre que d'un petit nombre de millimètres par heure, qui, par suite, ne sont pas susceptibles de se laisser pénétrer par l'eau dans les conditions d'un arrosage ordinaire, et pour lesquelles il ne conviendrait de faire les sacrifices de l'amenée de l'eau que dans des conditions techniques et économiques spéciales ;

2° Les *terres peu perméables* où l'eau pénètre toujours, dans les conditions pratiques d'un arrosage, aux environs de 1 centimètre par heure et auxquelles il conviendrait de donner des arrosages peu copieux, plus ou moins répétés ;

3° Celles enfin où l'eau pénètre au moins de quelques centimètres et plus, et que l'on peut qualifier de *perméables*, c'est-à-dire aptes à absorber l'eau. A ces terres conviennent des arrosages plus copieux. Au-dessus d'une certaine perméabilité, il n'y a plus intérêt à déterminer le degré exact du classement des terres à l'échelle. Elles sont toutes aptes à l'arrosage. Mais c'est ici qu'interviendra surtout la détermination du volume d'eau réellement utile à la végétation, afin de leur donner cette quantité et non la quantité supérieure qu'elles seraient sûrement capables d'absorber.

Le tableau qui suit indique comment les essais ont classé les champs d'expériences choisis par les auteurs.

CHAMP D'EXPÉRIENCES.	NATURE DU SOL.	DEGRÉS DE PERMÉABILITÉ (1 degré correspond à 1 cm. de hauteur en s'infiltrant dans l'espace de 1 heure.
Fourcadel (vallée de la Garonne).....	Boulbène presque imperméable.	0,05 à 0,1
Ondes (vallée de la Garonne).....	Limons argileux peu perméables.	0,6
Cavaillon (à Vaucluse).....	Alluvions modernes assez perméables.	2
Carpentras.....	Alluvions anciennes perméables.	3, 10 et 12
Valence	Terrains très perméables.	50 à 60

Ces expériences, limitées aux résultats que nous venons d'énoncer, ont déjà ce grand intérêt qu'elles expliquent pourquoi certains canaux d'irrigation ont répondu aux espérances que l'on avait fondées sur leur établissement, pourquoi d'autres n'ont donné que des déceptions. Ainsi, la région desservie chez nous par le canal de Saint-Martory, qui s'étend des pieds des Pyrénées jusqu'à Toulouse, n'a pas vu sa prospérité augmenter, bien au contraire. Cela tient à la faible perméabilité des terres. Elles ne peuvent absorber que partiellement l'eau qu'on leur donne. Elles deviennent rapidement marécageuses. Les insuccès du canal de la Bourne (rive gauche du Rhône) avaient été attribués au climat, à la nature de l'eau, etc. Les recherches de MM. Müntz, Faure et Lainé montrent qu'ils tiennent à l'extrême perméabilité du sol. L'eau s'engouffre au premier contact sans arriver à arroser les surfaces qu'elle devrait atteindre. Bien au contraire, les canaux de Carpentras et de Saint-Julien, qui s'alimentent tous deux à la Durance, ont donné d'excellents résultats. C'est qu'il s'agit là de terres dont la constitution physique, et en particulier la perméabilité, convient aux arrosages. Les ingénieurs chargés de l'établissement des canaux d'irrigation devront à l'avenir se préoccuper davantage, en préparant leurs projets, des propriétés physiques, de la perméabilité surtout, des territoires qu'il s'agit d'arroser. Les recherches dont il s'agit leur montrent comment ils peuvent déterminer d'une manière relativement précise les éléments qui leur manquaient jusqu'ici. Les canaux coûtent cher, l'eau a sa valeur. Il convient évidemment de ne la donner qu'aux régions qui peuvent la payer et d'en limiter l'emploi aux quantités réellement utiles. Nous reprenons cette question au chapitre VIII (Voy. p. 311).

Les mémoires de MM. Müntz, Faure et Lainé contiennent des remarques d'ordre général qu'il est bon de rapporter ici.

Il y a des terres composées de limons fins et même très fins qui devraient être imperméables et qui cependant ne le sont pas parce qu'elles contiennent une proportion notable d'argile. Ce fait peut paraître, au premier examen, paradoxal. Il s'explique lorsque l'on sait que l'argile forme avec les particules sableuses très fines des agrégats qui laissent entre eux



des espaces vides de dimensions plus grandes. L'effet de l'argile, lorsque sa teneur ne dépasse pas certaines proportions, est de diminuer la compacité des sols formés de sables très fins. Elle leur donne de la perméabilité.

La décomposition des racines des plantes exerce une influence sur la perméabilité. C'est ainsi que celle-ci s'est montrée plus élevée dans un champ de luzerne, en terre sèche, que sur un sol labouré, qu'elle varie suivant que les terrains sont engazonnés ou non et suivant que l'engazonnement est plus ou moins ancien.

Lorsque la sécheresse est grande (année 1906), les terres engazonnées laissent filtrer l'eau avec beaucoup plus de rapidité que les terres labourées. Les différences peuvent varier du simple au quintuple et au delà. Cela tient principalement à la présence de racines mortes qui, au moment de la vitalité, gonflées et sous l'influence de leur puissance végétative, ont comprimé le terrain autour d'elles, et plus tard, desséchées et ratatinées, ont laissé des canaux nombreux partout où elles s'étaient développées. L'eau trouve donc là des chemins pour s'infiltrer dans le sol. Opérant en année humide, M. Müntz constate le phénomène inverse. La flétrissure et le dessèchement du système racinaire ne s'étant pas produits, les canaux ne se sont pas formés, et ce sont les terres labourées qui se sont montrées le plus perméables.

Les limons à éléments sableux très fins, à faible teneur d'argile (moins de 12 p. 100), appelés *boulbènes* sur les plateaux dominant la Garonne, par opposition aux *terreforts* de la vallée, constituent ce que l'on appelle des *terres battantes*. La pluie les désagrège et les réduit rapidement en un glacié uni au travers duquel l'eau pénètre difficilement. Au lieu de s'infiltrer, elle court à la surface. Elle donne lieu à des mares et le pays est généralement coupé de petits ruisseaux qui s'arrêtent dès que vient la saison chaude. Leur capacité pour l'air est faible (7 à 10 p. 100). Leur perméabilité est très faible (au-dessous de 5).

Certaines terres peu perméables peuvent avoir une assez forte capacité pour l'eau, mais une faible capacité pour l'air (moins de 10 p. 100). On les appelle *asphyxiantes*. Dès qu'elles



contiennent le moindre excès d'eau, la réserve d'oxygène nécessaire aux racines des plantes est presque entièrement supprimée et se renouvelle difficilement à cause de la compacité. Ainsi s'explique sur certains points l'abondance si frappante des plantes aquatiques, telles que les juncs.

3. — Capillarité. — Mouvements de l'eau dans le sol.

L'eau stagnante est nuisible. L'eau doit circuler dans le sol, d'abord pour étendre son action bienfaisante, puis parce que c'est ainsi qu'elle porte aux racines et à la terre même l'oxygène qui est nécessaire à la vie et à l'assimilation des éléments. Elle doit *vivre* pour ainsi dire, sinon elle engendre la mort. Par les façons culturales, par l'irrigation et le drainage, l'homme intervient dans sa circulation souterraine. Mais elle est toujours soumise à l'action puissante de la pesanteur et des forces capillaires.

Comme l'a dit P.-P. Dehérain, les labours et les travaux d'ameublissement jouent un rôle extrêmement important quant à la pénétration de l'eau dans le sol. Ils ouvrent la surface durcie de nos champs, *travaillent* parfois le sous-sol et donnent à la terre une consistance telle qu'elle favorise l'entrée de l'eau. La pluie glisse sans y pénétrer sur un sol qui n'a pas été *remué* depuis longtemps. Les sarclages, les binages détruisent les mauvaises herbes. Ils économisent ainsi l'eau qui serait absorbée par ces plantes nuisibles et laissent la terre la réserver aux bonnes plantes.

Les terres en jachère sont plus humides, très sensiblement, que les terres cultivées. Dans ses cases de végétation de Grignon, Dehérain a recueilli, au-dessous, moins d'eau de drainage dans les cases cultivées que dans les terres laissées en jachère. Pendant les années sèches, les cases en jachère seules donnaient des eaux de drainage. L'ameublissement du sol et la destruction des plantes adventices ont donc une grande importance. Le drainage, comme nous le verrons plus loin, détermine au-dessus des lignes de tuyaux, lorsque la terre s'assèche, de longues fentes ou crevasses plus ou moins larges, qui parcourent la terre de haut en bas. Ces ouvertures per-



mettent à l'eau de pluie de pénétrer dans le sol. En sorte que, chose inattendue, *le drainage, qui a pour but d'assainir le sol en le débarrassant des eaux surabondantes, facilite pendant la période sèche l'approvisionnement en eau atmosphérique.* Par contre, observation également curieuse, *les pluies surabondantes détruisent l'ameublissement de la terre et la rendent imperméable, parce qu'elles détruisent l'état ordinaire des particules terreuses.*

« Les terres qui retiennent le plus d'eau, dit M. Schloesing, sont celles dont les éléments sont très fins et qui ne renferment pas une proportion de ciment, minéral ou organique, suffisante pour leur conserver la division en particules. Ces terres ne peuvent que très difficilement se ressuyer. Leurs éléments, n'étant que très faiblement reliés entre eux, se séparent sous l'action de l'eau et tendent à former des boues où il n'y a plus de canaux interstitiels, comme dans la terre meuble, mais seulement des intervalles capillaires très petits qui demeurent gorgés d'eau. Dans les terres argileuses, les éléments, si fins qu'ils soient, sont tellement cimentés que la pluie ne détruit pas l'état particulaire ; les particules remplissent d'eau leurs pores sans s'écrouler, les interstices demeurent libres après ressuyage. Ces terres gardent moins d'eau que les terres sableuses à éléments très fins. »

L'eau descend dans la terre par l'effet de la gravité et aussi parce qu'elle est attirée par les couches inférieures lorsqu'elles sont moins humides que celles du haut. Les labours, les façons culturales et surtout le drainage ont pour résultat de favoriser l'entrée de l'eau, sa pénétration, son absorption par les couches supérieures, puis enfin l'écoulement de son surplus dans le sous-sol où il s'emmagasiné. La provision d'eau ainsi formée reste là, seule, ou enrichie par les apports des nappes souterraines, jusqu'au moment où elle sera appelée vers le haut à la suite du dessèchement des couches supérieures.

Quelle est la force qui détermine alors son ascension ? La capillarité. Les considérations sur lesquelles nous nous sommes déjà étendus montrent immédiatement que les forces capillaires s'exerceront avec d'autant plus d'énergie que les terres seront constituées d'éléments plus fins ou qu'elles seront davantage tassées.

D'autre part, les mouvements de l'eau dans le sol sont immédiatement commandés par l'état de siccité ou d'humidité relative des couches voisines. On sait que l'ascension ou le mouvement capillaire résulte de la tension superficielle, tendance que possède toute surface liquide à se contracter de manière à présenter l'aire minima compatible avec la masse de sa substance. Quand la terre est assez éloignée de la saturation, l'eau recouvre les grains qui constituent le sol d'une mince couche de liquide. On dirait, écrit M. Garola, une bulle de savon dont le contenu d'air a été remplacé par le grain de sable ou d'argile. « Aux points de contact des grains entre eux, ajoute cet agronome, les enveloppes liquides s'unissent pour former une couche continue très mince d'eau au travers du sol, dont l'une des faces adhère aux grains terreux avec d'autant plus de force que ces grains sont très petits et se raccordent sous des angles très aigus, tandis que l'autre surface est en contact avec l'air de l'espace intergranulaire. Celle-ci est une surface libre d'une très grande étendue relative quand le sol est loin de son point de saturation. Elle se rapproche alors de l'aire superficielle des grains du sol, qui est très considérable et atteint en moyenne 250 mètres carrés par kilogramme de terre sèche. On conçoit donc que cette force, qui est proportionnelle à l'étendue de la surface libre, puisse avoir une action très importante et contre-balance et au delà les effets de la pesanteur.

« Si un sol, ainsi partiellement saturé, reçoit de l'eau à sa partie supérieure, la même couche d'eau qui entoure les grains s'épaissit, et, par suite, la surface libre de la tunique aqueuse diminue, et avec elle la puissance d'action de la tension superficielle. Enfin, quand tous les vides seront remplis, quand le sol sera saturé, il n'y aura plus de surface libre, et la tension superficielle sera nulle dans la terre.

« Considérons toujours ce sol non saturé. Supposons-le placé sur un sous-sol de même texture et admettons que la tension superficielle soit identique dans les deux couches. Aucun mouvement d'eau ne se produira. Mais, s'il arrive une pluie sur la surface, l'épaisseur de la tunique aqueuse qui enveloppe les grains augmentant pour le sol, la surface libre diminuera



et avec elle la puissance de la tension superficielle. Dès lors, l'eau sera attirée vers le sous-sol, où la tension superficielle est plus considérable, jusqu'à ce que l'équilibre soit rétabli, abstraction faite de l'action de la pesanteur. Dans ce cas, la tension superficielle s'ajoute à la pesanteur pour faire descendre l'eau.

« Si le même terrain, au lieu de recevoir de l'eau, en perd par évaporation ou par transpiration des plantes, la tunique aqueuse diminuera d'épaisseur, augmentera de surface libre, et l'action de la tension superficielle s'accroîtra en proportion. Cela aura pour résultat un appel d'eau du sous-sol, qui se continuera tant que les actions seront les mêmes.

« Quand deux volumes de terre en contact ont une humidité différente, il y a toujours mouvement de l'eau du point le plus humide vers le point le plus sec par la même raison, et le mouvement continue tant qu'il y a une différence entre les fractions de saturation.

« En résumé, chaque fois que l'aire de la surface aqueuse libre dans un point du sol s'accroît, la tension superficielle tend à le contracter, d'où il résulte un appel d'eau vers le point considéré. »

On a étudié dans le laboratoire le transport de l'eau de bas en haut dans les sols. On introduit dans des tubes de 100 centimètres de longueur et de 2 centimètres de diamètre, fermés à une extrémité, la terre que l'on se propose d'étudier. Ces tubes plongent de 1 à 2 centimètres, par leur partie inférieure fermée par un linge fin, dans une cuvette d'eau. Et l'on mesure, au bout d'un certain temps, jusqu'à quelle hauteur l'eau s'élève dans les différents tubes.

Meister a trouvé les chiffres suivants :

Sols.	Hauteur en millimètres après :			
	1/3 heure.	5 h. 1/2.	6 h. 1/2.	21 h. 1/2.
Argileux.....	340	1 100	1 150	2 000
Humus.....	400	1 100	1 140	1 770
Terre de jardin.....	290	950	980	1 610
Sable quartzeux très fin.	440	920	970	1 170
Tourbeux.....	260	500	570	1 140
Sablonneux.....	450	620	669	900
Gypseux.....	120	400	400	820
Grayeux.....	60	330	540	700

Ces chiffres ne donnent qu'une idée très éloignée de ce qui se passe réellement dans le sol, où les forces capillaires s'exercent avec beaucoup moins de facilité.

Ils montrent cependant que l'eau s'élève bien plus haut, au bout d'un certain nombre d'heures, dans les sols composés d'éléments très fins, comme l'argile, l'humus, le sable fin de quartz, que dans ceux qui contiennent des éléments plus gros.

Ces chiffres montrent aussi que l'eau se transporte bien plus vite dans les terres dont les éléments sont grossiers, comme le sable. Ces terres-là se dessèchent plus vite, parce que l'eau y circule plus facilement ; mais si la couche aquifère est profonde, elle ne pourra y faire sentir son action qu'à une faible hauteur. Plus les tubes d'expériences sont larges, plus est rapide l'ascension capillaire. On en peut conclure que, dans les terres en place, l'ascension de l'eau est plus rapide que dans les tubes. Il faut d'ailleurs se rappeler que les sols naturels présentent parfois des crevasses, des fentes, qui interrompent naturellement le phénomène.

Les expériences qui ont été faites sur l'ascension de l'eau dans les terres ont toutes montré qu'elle est d'autant plus haute que les terres sont plus fines.

L'expérience prouve aussi que, lorsque le sol est très sec, l'ascension capillaire de l'eau s'y fait plus difficilement parce que, entre les particules terreuses, se trouve de l'air et qu'il s'oppose au mouvement ascendant du liquide. D'autre part, l'eau circule plus vite autour de particules déjà mouillées. C'est pour une raison analogue qu'un sol sec s'imbibe si difficilement sous l'action de la pluie. Celle-ci glisse comme si sa surface était huilée.

Cette circonstance, comme l'a montré l'agronome américain King, explique un phénomène intéressant et à première vue paradoxal. M. King a observé, en prenant des échantillons du même sol, avant et après une averse, que la terre prélevée à quelque distance au-dessous de la surface était devenue plus sèche après la pluie qu'elle ne l'était avant, tandis que la terre de la surface était naturellement devenue plus humide. Ce résultat, en apparence extraordinaire, s'explique aisément si l'on réfléchit qu'une pluie légère suffit seulement



à mouiller les couches superficielles du sol. La capillarité, qui ne s'y exerçait plus, parce qu'elles étaient devenues trop sèches, peut s'y faire de nouveau sentir aux dépens de l'humidité des couches sous-jacentes. M. King remarque que le bienfait que l'on retire alors d'une pluie légère consiste dans le rétablissement de cette capillarité qui favorise l'alimentation des plantes dont les racines ne sont pas profondes.

D'après Wollny, le mouvement capillaire de l'eau dans le sol exige que celui-ci renferme une assez grande quantité d'eau, 30 à 50 p. 100 de ce qu'il en peut contenir quand il est saturé.

C'est l'assèchement des couches supérieures, pourvu qu'il n'aille pas trop loin, qui détermine l'ascension capillaire de l'eau contenue dans le sous-sol. Lorsqu'il dépasse une certaine limite, variable naturellement avec les terres, l'ascension capillaire est interrompue. Les couches supérieures ne peuvent recevoir de celles qui sont au-dessous que de la vapeur d'eau. Le mouvement est rétabli s'il survient une pluie ou un arrosage qui humecte les canaux capillaires et en chasse aussi l'air qui les remplit.

Des expériences faites aux Indes par J.-W. Leather, et très soigneusement conduites, ont montré qu'en temps de sécheresse le sol s'approvisionne bien d'eau dans le sous-sol, mais jusqu'à une certaine profondeur seulement.

La présence de sels solubles augmente l'ascension capillaire dans une certaine mesure. Ces sels sont entraînés du reste par l'eau, et, lorsque celle-ci s'évapore, ils se déposent à la surface du sol. C'est ce que l'on peut constater dans les terres humides, dont le sous-sol contient du sel marin, comme en Camargue par exemple.

Les sels fertilisants que l'on incorpore au sol sous forme d'engrais minéraux favorisent donc l'ascension de l'eau du sous-sol. Ils maintiennent la fraîcheur de la terre pendant les périodes de sécheresse, les sels de potasse et de soude surtout.

L'eau s'élève d'autant plus facilement dans les terres qu'elles sont plus fines ou plus tassées. Nous avons expliqué pourquoi. Depuis longtemps les cultivateurs mettent en pratique cette observation. Le semis, la jeune plante a besoin d'eau superficielle. Aussi roule-t-on les terres après les semailles. Les terres

ainsi tassées laissent l'eau arriver jusqu'à la graine ou à la plante. Plus tard, lorsque le végétal a poussé des racines, on bine la terre. L'eau y pénètre d'abord bien plus facilement, comme nous l'avons expliqué, et elle s'y emmagasine mieux. Mais, en outre, l'outil, en remuant la terre, a interrompu les canaux capillaires. Et les couches profondes du sol, où s'étendent les racines, restent plus humides, parce que l'ascension de l'eau de bas en haut s'effectue moins bien. D'autre part, si la pluie vient à tomber, elle pénètre plus facilement dans le sol. Sur un sol tassé, la pluie glisse ou séjourne en plaques qui s'évaporent. Aussi le binage et le sarclage n'ont pas seulement pour effet de détruire les mauvaises herbes, mais encore de faciliter la pénétration de l'eau dans le sol et sa conservation. C'est ce résultat que les cultivateurs constatent lorsqu'ils disent : « Deux binages, valent un arrosage. »

M. Schlesing démontrait, à l'Institut agronomique, par une ingénieuse expérience, l'influence de l'ameublement sur l'ascension de l'eau dans le sol. Dans une assiette contenant de l'eau colorée par de la fuchsine ou simplement du café, il plaçait sur son petit côté un morceau de sucre dont la tranche supérieure était recouverte d'un peu de sucre en poudre. L'eau colorée, le café monte rapidement jusqu'en haut du morceau de sucre, mais, dès qu'il atteint la base du petit tas de sucre en poudre, son mouvement s'arrête ou se ralentit considérablement.

4. — Dessiccation des terres. — Évaporation.

Nous avons vu comment les sols pouvaient se charger d'humidité. Examinons maintenant comment ils peuvent la perdre. Les besoins des plantes en extraient naturellement des quantités considérables ; nous nous sommes étendus ailleurs sur ce sujet (Voy. p. 15 à 31). Voici quelques chiffres donnés par Vogel et cités par Detmer, qui le rappelleront :

Évaporation sur une superficie de 1 pied carré en 108 jours de végétation, exprimée en grammes (temp. moy. ; 15°, 2 C.).

Sol nu	7 044
Sol recouvert d'avoine.....	21 602
— de blé.....	20 169



L'évaporation d'un sol dépend de l'état de division de ce sol, de la finesse de ses éléments, de son exposition, de l'état hygrométrique de l'air et des mouvements mêmes de l'atmosphère.

Pendant l'évaporation, deux phénomènes entrent en jeu. L'eau s'évapore à la surface de la terre, et elle se transporte de l'intérieur vers cette surface. L'examen attentif de ces deux phénomènes, comme l'a fait Sachs, permet de se bien rendre compte de ce qui se passe quand un sol se dessèche. Chacun des éléments qui constituent le sol est entouré d'une couche d'eau plus ou moins épaisse. Cette couche liquide peut être considérée comme formée de zones concentriques, qui sont d'autant plus adhérentes au noyau terreux qui est à leur centre qu'elles en sont plus près. Qu'il survienne dans une région déterminée une déperdition d'eau par évaporation ou autrement, l'équilibre qui existait entre le système formé par les particules terreuses et l'eau qui les entourait sera rompu. Il y aura départ d'eau vers cette région. Cette eau partira des couches extérieures des molécules liquides, parce que ce sont les moins adhérentes. Lorsque l'humidité d'une terre est forte, ce transport d'eau se fait sans difficulté. Mais, quand une terre est sèche, il est bien plus pénible, parce que les couches d'eau sont bien plus adhérentes aux particules terreuses. Il en est de même, toutes choses égales d'ailleurs, lorsque les éléments qui constituent les terres sont très fins. C'est qu'alors la couche d'eau qui les revêt étant beaucoup plus mince, elle est beaucoup plus adhérente. En effet, la surface totale qu'offrent les particules terreuses étant sensiblement plus grande que celle qu'offriraient des éléments grossiers, pour une même dose d'humidité, l'épaisseur de la couche liquide déposée sur chaque élément est nécessairement plus faible. Ces deux phénomènes, évaporation de la surface, transport de l'eau des éléments vers cette surface, dominent toute la question de l'évaporation ou de la dessiccation des terres. Une terre à éléments grossiers, comme le sable, évapore plus vite qu'une terre à éléments fins, comme une terre argileuse, parce que le transport de l'eau s'y fait plus facilement. Mais elle évaporerait moins longtemps et seulement une quantité



d'eau inférieure à celle qu'évaporerait une terre argileuse, parce qu'elle contient moins d'eau. Pour la même cause, l'adhérence des couches liquides aux particules solides, adhérence d'autant plus énergique que ces particules sont plus fines, une terre argileuse luttera avec beaucoup plus de succès contre l'évaporation qu'une terre sablonneuse. Masure a donné les chiffres suivants, qui confirment ce que nous venons de dire :

	Temps nécessaire aux divers éléments pour cesser de perdre de l'eau par évaporation spontanée.	Hauteur d'eau éaporée en milli- mètres.	Quantité d'eau que retiennent encore les éléments qui ne perdent plus rien par évaporation spontanée, en p. 100.
Sable.....	3 jours.	3,7	2,1
Calcaire	7 —	3,5	3,6
Argile	7 —	4,3	7,0
Humus.....	3 —	4,5	41,0

Le chiffre qui concerne l'humus montre que cette substance est particulièrement intéressante au point de vue qui nous occupe.

Du pouvoir que les terres à particules fines possèdent de conserver l'eau plus longtemps que les terres à particules grossières, il ne faut pas conclure qu'elles alimenteront les plantes plus longtemps. Il arrive assez vite un moment où, la couche d'eau qui entoure les molécules étant devenue assez mince, la racine ne peut plus vaincre son adhésion à la terre. C'est ainsi que Sachs a trouvé que, dans un sol argileux à éléments fins, un plant de tabac se fane dès que l'humidité s'abaisse à 8 p. 100, tandis que dans un sol quartzeux à gros grains la même plante ne se fane que lorsque l'humidité s'abaisse à 1,50 p. 100.

L'exposition exerce une influence marquée sur l'évaporation. Une terre de même nature, également arrosée, évapore sensiblement plus à l'exposition sud qu'à celle du nord.

Le vent, en particulier les vents secs de l'est et du nord, dessèche les terres nues ou peu couvertes.

Les dissolutions de sels évaporent moins que l'eau pure. Par conséquent, *l'addition d'engrais aux terres peut diminuer jusqu'à un certain point leur évaporation.*

Comment protéger les terres contre l'évaporation ? — Le travail du sol, son émiettement, son ameublissement permettent à l'eau non seulement de s'emmagasiner dans le sol, de s'y répartir uniformément, comme nous l'avons déjà dit, mais encore de s'y conserver. L'outil, en ouvrant la terre, permet à l'eau d'y pénétrer ; en l'émiettant, en coupant les canaux capillaires qui la portent jusqu'à la surface, il lui permet de résister à l'évaporation. Un agronome allemand, Eser, a donné les résultats suivants, qu'il a obtenus à la suite d'expériences entreprises sur ce sujet :

Évaporation sur une superficie de 1000 centimètres carrés, en vingt-quatre heures, exprimée en grammes.

Dates.	Sol biné.	Sol non remué.
13-14 août.....	237	212
14-15 —	455	633
15-16 —	165	187
16-19 —	350	507
19-20 —	325	482
20-21 —	225	325

Ces chiffres confirment bien ce que nous venons de dire. Les *couvertures* que l'on peut mettre sur le sol, telles que fumier, tourbe, etc., diminuent naturellement l'évaporation. *L'addition d'engrais* la diminue aussi.

Contre le vent, les *bois*, les *haies*, la *végétation* elle-même constituent des protections efficaces.

L'évaporation détermine d'ailleurs à la surface des terres bien ameublées la formation d'une sorte de croûte solide qui devient bientôt une protection contre la dessiccation. Ce manteau protecteur se forme d'autant plus vite que les rayons du soleil sont plus ardents, que l'air est plus sec, chaud et agité. Il tient à ce que bientôt l'évaporation l'emporte sur l'apport de l'eau intérieure, que la couche superficielle le dessèche jusqu'au point où l'eau ne peut plus s'y mouvoir qu'avec une extrême lenteur.

5. — Retrait des terres. — Fendillement.

Lorsqu'une terre se dessèche, elle éprouve naturellement un retrait. Il en résulte qu'elle se fend sur place, sur une profondeur plus ou moins grande. En soumettant à la dessiccation de petits prismes de terre, on a trouvé que 1 000 parties cubes se réduisent à :

Chaux carbonatée.....	950
Argile.....	940
Humus.....	846
Sable.....	Pas de retrait.

Les fentes, que l'on rencontre toujours dans les terres fortes lorsque la sécheresse a succédé à la pluie, permettent à l'eau de pénétrer de nouveau dans le sol. L'air, si utile à la vie des racines et à l'élaboration des aliments des plantes, y trouve aussi son accès. Comme nous le verrons, le drainage, en asséchant le sol lorsqu'il est trop humide, amène la formation de ces crevasses, et avec d'autant plus d'énergie que le sol est plus argileux. Lorsque la sécheresse est arrivée, les sols les plus argileux, si avides d'eau, pourront donc, grâce au drainage, s'approvisionner plus facilement à la moindre pluie. Aussi peut-on dire, avec M. Risler, que *le drainage apporte de l'eau aux plantes*. C'est une assertion qui paraît d'abord paradoxale. Les faits et le raisonnement la justifient.

Les terres durcissent d'autant plus en séchant qu'elles sont plus fines.

6. — Température du sol.

Les plantes ont besoin de trouver dans le sol une certaine quantité de chaleur, afin que les phénomènes qui président à leur nutrition puissent s'accomplir. Elles ne montrent pas toutes, sous ce rapport, les mêmes exigences. Les unes ne peuvent vivre que sous les climats très chauds ; d'autres prospèrent, au contraire, sous des latitudes élevées. C'est le soleil qui est pour le sol la source presque unique de chaleur. Bous-singault a montré, il y a longtemps, que, dans les conditions ordinaires de la pratique, le fumier ne pouvait pas donner,



par sa combustion, une grande quantité de calorique ; son efficacité à ce point de vue n'est réelle que si on l'emploie en grande abondance, comme dans les couches chaudes des jardiniers.

Plusieurs circonstances interviennent dans l'échauffement de la terre par les rayons solaires : le degré d'humidité, l'obliquité des rayons, la couleur de la terre, son orientation, la température de l'air.

Nous ne retiendrons que ce qui concerne l'humidité.

Une terre humide s'échauffe moins vite qu'une terre sèche. Elle perd plus rapidement la quantité de chaleur qu'elle contient. Entre deux lots d'une même terre exposée au soleil, l'un sec, l'autre humide, Schubler a trouvé une différence de 8 degrés dans la couche superficielle.

Voici les résultats auxquels il est arrivé dans l'examen d'un certain nombre de terres :

	Température du sol en degrés centigrades.	
	Humide.	Sec.
Sable quartzeux.....	37,25	44,75
Argile maigre.....	36,75	44,12
Terre calcaire blanche et fine.....	35,65	43,00
Humus.....	39,75	47,37
Terre de jardin.....	37,50	45,25
— arable ordinaire.....	36,88	44,25

Le sol humide est donc constamment plus froid que le sol sec.

Ce fait tient d'abord à ce que l'évaporation est plus active dans un sol humide que dans un sol sec et qu'elle absorbe nécessairement de la chaleur. Il tient aussi à ce que la chaleur spécifique de l'eau (1) étant plus élevée que celle des constituants du sol, il faut plus de chaleur pour chauffer un terrain mouillé qu'un terrain sec.

D'autre part, l'eau conduisant moins bien la chaleur que les éléments qui constituent le sol, le soleil réchauffe moins facilement une terre humide qu'une terre sèche. Enfin l'eau

(1) On appelle *chaleur spécifique d'un corps* la quantité de calories qui est nécessaire pour élever de 1 degré la température de 1 kilogramme de ce corps. La calorie est l'unité de mesure. C'est la

possède un pouvoir rayonnant considérable. Les couches supérieures du sol en contact avec l'atmosphère se refroidissent très vite. L'eau qu'elles contiennent descend donc en vertu de sa densité plus considérable. Elle est remplacée par l'eau que renferment les couches inférieures. Celle-ci se refroidit à son tour, et ainsi de suite.

De ces circonstances résulte encore qu'un sol humide, froid par conséquent, possède une température moins variable qu'un sol sec. Les variations de la température extérieure se font moins sentir dans le premier que dans le second. Il s'échauffe aussi plus lentement au printemps.

Ces quelques notions sur les relations qui existent entre le degré d'humidité des terres et leur température présentent beaucoup d'intérêt au point de vue du drainage et de l'irrigation. Nous aurons à y revenir.

En drainant le sol, on fait disparaître la cause de la température basse des terres humides, des terres argileuses qui sont par conséquent elles-mêmes « froides ». Un excès d'eau abaisse encore leur température qui devient alors absolument insuffisante et qui nuit aux récoltes.

L'irrigation amène de l'eau sur le sol. Celle-ci, suivant son origine, suivant l'époque de l'année, ou même le moment de la journée, peut être plus chaude ou plus froide que la terre. Dans le premier cas, elle la réchauffe ; dans le second, elle la rafraîchit.

Des expériences récentes de MM. Müntz et Gaudechon montrent que l'eau arrivant sur une terre échauffée par les rayons du soleil élève sa température et d'autant plus qu'elle

chaleur spécifique de l'eau. Elle est donc égale à 1 par définition.

Voici, d'après l'agronome Pfundler, la chaleur spécifique de quelques-uns des constituants du sol :

Chaleur spécifique
des matières desséchées

à 100°.

Sable de rivière, sans humus.....	0,1933
Sable calcaire.....	0,2081
Tourbe.....	0,5069
Terre à blé très fertile.....	0,2847

la chaleur spécifique de l'eau étant 1.

contient davantage de matières organiques. Il y a dans ce phénomène très curieux une action moléculaire et une action d'affinité. La terre, riche en humus et chaude, a tellement d'affinité pour l'eau qu'elle l'absorbe en dégageant une chaleur telle que sa température peut atteindre plus de 50° C. Là est l'explication qu'on ignorait du danger d'arroser les terres en plein soleil.

QUELLE EST LA QUANTITÉ D'EAU OPTIMA QUE DOIT CONTENIR
UNE TERRE?

Il n'est guère possible de condenser dans un chiffre une réponse à cette question. Elle varie avec la nature des terres et même avec le climat. Le comte de Gasparin (1) a dit qu'il considère comme un type idéal la *terre fraîche* : « cette heureuse et rare combinaison de toutes les qualités du terrain qui ne permet pas qu'à 30 centimètres de profondeur il ait jamais moins de 0,10 d'humidité dans les plus grandes sécheresses de l'été, ou plus de 0,23 dans la saison des pluies. » D'après Hellriegel, l'humidité optima est réalisée quand la terre renferme de 50 à 60 p. 100 de sa capacité maxima pour l'eau, c'est-à-dire de 50 à 60 p. 100 de sa porosité, et si celle-ci est de 40 p. 100, de 20 à 25 p. 100 de son volume total. Il s'agit d'expériences poursuivies à Dahme (Prusse, Brandebourg).

II. — RAPPORT ENTRE LES QUANTITÉS DE PLUIES
TOMBÉES ET LES QUANTITÉS D'EAU QUI TRAVERSENT
LES TERRES.

On comprend son importance, puisqu'il indique la quantité d'eau que le drainage doit enlever. Les eaux de pluie ou de neige, que reçoit un terrain supposé horizontal, se divisent en trois fractions ; l'une est évaporée, partie directement, partie par l'intermédiaire des plantes ; la seconde pénètre dans le sol et y reste provisoirement, s'il n'est pas saturé ; la troisième le traverse, et, s'il est drainé, s'échappe au dehors, au moins une

(1) DE GASPARIN, *Cours d'agriculture*, t. I, 3^e édition, 1863.



partie. Ce que nous avons dit jusqu'à présent fait prévoir que les valeurs de ces fractions dépendent : de la nature du sol, de son degré d'ameublissement et d'humidité, de son état de culture, du climat, de la saison et même de la rapidité des chutes de pluie. Et la diversité de ces facteurs montre combien l'étude de cette question est difficile. Plusieurs observateurs l'ont traitée ; quelques-uns ont poussé leurs expériences durant nombre d'années ; citons : Dalton (1790), Dickinson et Evans (1836-1884), Greaves (1851-1880), Lawes et Gilbert (vingt-cinq ans), Möllendorf et Wäge (quatre ans), Hervé Mangon (1855-1857), Wollny, Dehérain, Risler (1886-1876). Sauf M. Risler, ils ne se sont pas placés dans des conditions rigoureusement naturelles. Les uns ont opéré sur de la terre nue (Lawes et Gilbert), qu'ils désherbaient même, en sorte que la quantité d'eau de drainage recueillie était beaucoup plus considérable qu'elle n'eût été si la terre avait été cultivée comme elle l'est d'habitude ; les autres se sont servis de *lysimètres*, caisses de surface restreinte, où les propriétés physiques des terres, leur contexture intime se modifient toujours plus ou moins. De 1855 à 1857, Hervé Mangon a bien fait des expériences dans des conditions normales. Il opérait sur un terrain cultivé et drainé de plus de 1 hectare. Mais les observations de 1855 et de 1856 n'ont duré que vingt-deux mois ; celles de 1857 ont porté sur un champ qui recevait probablement de l'eau de l'un des terrains supérieurs. Ces circonstances diminuent leur valeur.

De la quantité d'eau qui traverse le sol dépendent, nous le verrons plus tard (*Voy. Drainage*), le calcul des dimensions des collecteurs du réseau de drainage et, par conséquent, le bon fonctionnement et une partie du prix de revient de cette amélioration. On sent donc l'intérêt que présente la détermination aussi exacte que possible de la quantité d'eau qui arrive jusqu'aux drains.

A ce point de vue, ce ne sont pas la moyenne annuelle ni même les moyennes saisonnières qu'il faut envisager, mais bien les moyennes *mensuelles les plus élevées des hauteurs d'eau tombée et d'eau infiltrée*. Il faut, en effet, que l'assèchement du terrain soit assuré pour le mois où la quantité d'eau



évacuée par les drains est maxima, c'est-à-dire celui où le produit est maximum, que l'on obtient en multipliant la quantité moyenne d'eau tombée par la quantité moyenne pour 100 d'eau sortie.

Les graphiques figures 6 et 7 montrent que, dans les con-

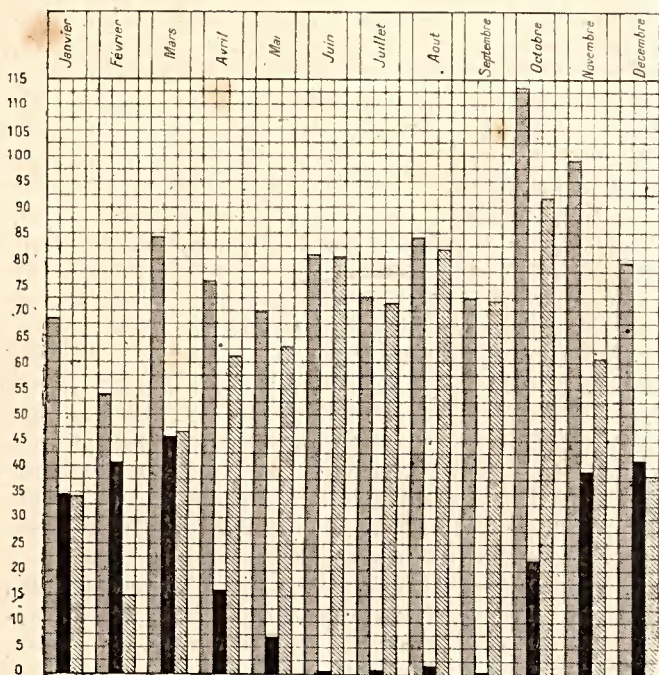


Fig. 6. — Quantités moyennes et mensuelles d'eau tombée □, d'eau de drainage ■ et d'eau évaporée ▨.

Résultats de dix années d'observations de M. Risler, à Calèves (Suisse).

ditions de climat, de terrain, de culture, etc., où se trouve Calèves, c'est le mois de mars qui fournit ce maximum et non celui de novembre, où il a cependant plu davantage.

Mars fournit aux drains une quantité moyenne d'eau

égale à $\frac{0^m,084 + 54}{100} = 0^m,045$. Novembre, avec une chute de

pluie de $0^m,099$, ne donne que $\frac{0^m,099 + 39}{100} = 0^m,038$.

Il est évident que ces conditions spéciales à Calèves ne se retrouvent pas sous des climats très différents, dans des sols de caractères tout autres, dans le midi de la France, par exemple. Aussi, serait-il très utile d'établir en France des expériences conçues sur les mêmes bases que celles de M. Risler dans les régions les plus caractéristiques sous le rapport du climat, du sol et des cultures. Nous reprendrons ces questions en étudiant le drainage.

M. Risler s'est placé à Calèves, de 1867 à 1876, dans des conditions rigoureusement normales. Ses expériences ont porté sur des terres livrées aux opérations habituelles de la culture. Et c'est avec des drains véritables qu'il a recueilli les eaux qui ont traversé le sol. Il a choisi un champ de plus de 10 ares, à peu près horizontal, ne recevant d'autres eaux que celles de la pluie ou de la neige tombée à sa surface, assez argileux afin qu'il fût certain que toute l'eau qui n'était pas évaporée sortait par les drains placés à $1^m,20$ de profondeur. La première année, le champ avait $\frac{2}{5}$ de sa surface en pommes de terre, $\frac{2}{5}$ en blé, $\frac{3}{20}$ en luzerne et $\frac{1}{20}$ en chemins qui déversaient leurs eaux vers les drains. Plus tard, $\frac{2}{5}$ furent en blé, $\frac{2}{5}$ en trèfle, $\frac{2}{20}$ en luzerne, $\frac{1}{20}$ en chemins. Les conditions naturelles dans lesquelles M. Risler s'est placé donnent une grande valeur à ces expériences, qui ont été poursuivies pendant dix ans.

On peut résumer leurs résultats dans les chiffres moyens qui suivent :

Hauteur moyenne d'eau de pluie et de neige tombées par an.	944 ^{mm} ,4
— évacuée par les drains.....	250 ^{mm} ,8
— évaporée.....	693 ^{mm} ,8
Eau évacuée par les drains.....	26 p. 100.
Eau évaporée.....	74 —

Les températures moyennes des différents mois ont été comprises entre $0^{\circ},5$ C. (janvier) et $20^{\circ},5$ C. (juillet).

Les expériences de Lawes et Gilbert sur la terre nue ont



donné pour dix ans (1871-1880) une moyenne générale de 42 p. 100 pour l'eau d'infiltration.

Mais ce qu'il y a surtout d'intéressant, c'est de comparer

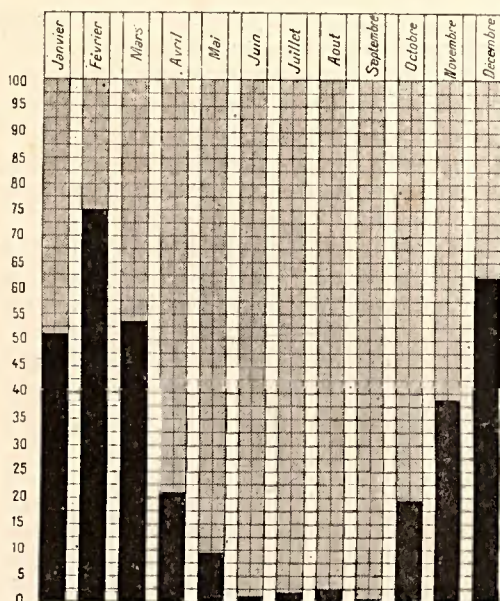


Fig. 7. — Quantités moyennes et mensuelles d'eau de drainage et d'eau évaporée exprimées en pour cent de l'eau tombée. Résultats de dix années d'observations de M. Risler, à Calèves (Suisse).

entre elles, chaque mois, les hauteurs de pluie tombée et d'eau évacuée par les drains et d'eau évaporée.

Les graphiques figures 6 et 7 établissent d'une manière frappante ces comparaisons. Ils montrent que, pendant les mois où la végétation est la plus active (mai, juin, juillet, août, septembre), l'évaporation est à son maximum ; les drains ne donnent pour ainsi dire pas d'eau. Au contraire, pendant la fin de l'automne, tout l'hiver et le mois de mars, période durant laquelle la végétation est arrêtée ou se réveille à peine, les

drains donnent leur maximum, et l'évaporation est ralentie. L'infiltration suit donc une marche inverse de celle de la température moyenne de l'air.

Faisons observer encore ici combien les graphiques fournis (fig. 6 et 7) par les expériences de M. Risler sont intéressants au point de vue des irrigations. Ils montrent que l'évaporation atteint son maximum au moment de la période active de la végétation, de mai à septembre. Les drains ne donnent plus d'eau alors, toute l'eau qui tombe est évaporée. Et c'est précisément à ce moment-là que les terres en auraient le plus besoin. Les plantes, nous l'avons vu dans un chapitre précédent, ne peuvent alors puiser que dans les réserves de la terre. D'où la démonstration de l'utilité des irrigations estivales d'arrosage et des labours profonds, des façons aratoires, du drainage ; toutes opérations qui augmentent la profondeur du sol, et favorisent l'emmagasinement de l'eau des pluies de l'automne, de l'hiver et du printemps.

III. — INSTRUMENTS POUR PRÉLEVER DES ÉCHANTILLONS DE TERRES. — SONDES.

Qu'il s'agisse de drainage ou d'irrigation, il est nécessaire de se rendre compte d'une manière exacte des couches qui constituent le sol et le sous-sol, d'en prélever des échantillons et de les analyser au point de vue physique et même au point de vue chimique, surtout en ce qui concerne leur teneur en chaux et en fer. Lorsque le terrain bordera une route ou un chemin creusé en déblai, on en profitera pour faire des observations intéressantes. Dans tous les cas, en des points suffisamment rapprochés et marquant les endroits les plus caractéristiques, on prélèvera à des profondeurs variables de 0^m,30 à 2 et 3 mètres, à l'aide de sondes appropriées, des échantillons du terrain. Ces points seront repérés sur la carte du champ soumis à l'amélioration. L'analyse des échantillons servira à compléter la légende des profils en long et en travers qui seront reportés sur le plan et qui représenteront aussi fidèlement que possible l'infrastructure du terrain.

Nous ne croyons pas que la fabrication de ces sondes se



soit beaucoup répandue en France, quoique l'invention en remonte, sans doute, à notre célèbre Bernard de Palissy. La sonde connue sous son nom, représentée par la figure 8, est la plus répandue chez nous. Elle est construite par M. Gauthier.

A l'étranger, les constructeurs offrent de nombreux modèles

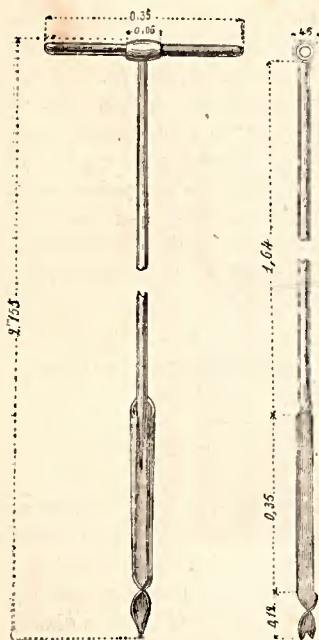


Fig. 8. — Sonde de Palissy.

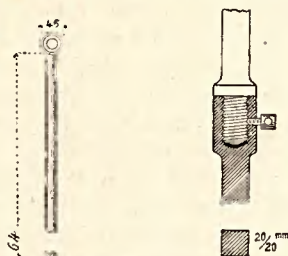


Fig. 9. — Tige d'accouplement.

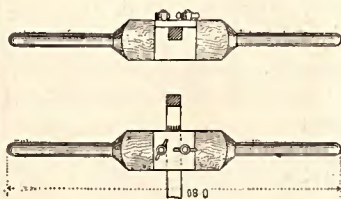


Fig. 10. — Poignée de sonde.

de ces utiles instruments. Les figures 11 et 12 représentent plusieurs sondes qui coûtent chacune environ 40 francs. Les légendes placées sous les figures nous dispensent d'entrer dans de longues descriptions. La figure 10 représente la poignée que l'on adapte à la partie supérieure du manche de la sonde pour aider à l'enfoncer. La figure 9 montre les tronçons de section égale à $\frac{20}{20}$ millimètres, que



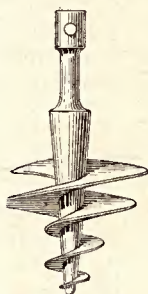


Fig. 11. — Perforateur pour terres légères.



Fig. 12. — Sonde pour terres sablonneuses.



Fig. 13. — Tarière pour terrains pierreux.



Fig. 14. — Sondes Triumph, Rapide et Universelle.



l'on accouple pour explorer le terrain à des profondeurs que la consistance du sol limite, car il faut pouvoir retirer la sonde sans que l'effort dépasse la force d'un ou deux hommes.

Dès que l'eau est atteinte, sa profondeur est soigneusement notée ; les sondages sont multipliés de manière à repérer les différents points du plan. Il ne convient pas de mesurer la profondeur de l'eau avant une douzaine d'heures, car son

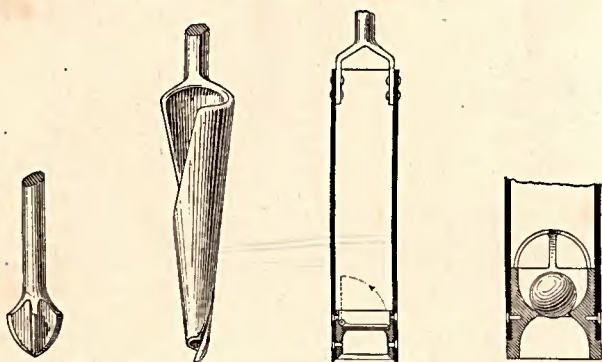


Fig. 15. — Tarière à percussion.

Fig. 16. — Sonde pour terrains argileux.

Fig. 17. — Sondes à clapet pour terrains mouillés.

niveau varie dans les trous de sonde pendant assez longtemps.

La collection des sondes que nous venons de décrire ne suffit pas toujours. On peut aussi recommander les sondes que représentent les figures 14 à 17.

La figure 15 montre une tarière qui permet d'écarter les pierres ; les sondes à soupape représentées par la figure 17 sont destinées aux terrains sablonneux et noyés, aux terres boueuses.

Les sondes-tarières]Triumphet Rapide méritent d'être signalées pour la rapidité avec laquelle on peut les manœuvrer.



CHAPITRE III

LE RÉGIME DES EAUX DANS LES FORMATIONS GÉOLOGIQUES

La géologie nous fait connaître les couches imperméables qui se trouvent dans les différentes formations.

Si ces couches sont à la surface du sol ou très près de cette surface, les eaux des pluies ne peuvent pas y pénétrer, et il y aura lieu de les drainer.

Si elles sont surmontées d'assises perméables dans lesquelles les pluies peuvent entrer et s'accumuler, comme dans un réservoir, elles constituent un niveau d'eau que l'on peut atteindre en creusant des *puits* ou qui se déverse sur le flanc des vallées, donnant lieu à des *sources* sur les points où elles affleurent. Ces sources, captées par des procédés qui ressemblent à ceux du drainage, peuvent servir à l'alimentation des habitants ou à l'arrosage des terrains situés en contre-bas de leur débouché. Mais le plus souvent les irrigations se font au moyen des eaux de ruissellement, qui sont descendues des terrains supérieurs et se sont déjà réunies en ruisseaux ou rivières plus ou moins volumineux.

Drainages, recherches de sources, irrigations, tout cela dépend de la constitution géologique du pays et du régime des eaux qui en est la conséquence.

Nous devons donc nous baser sur la description géologique des terrains pour indiquer les travaux qu'il y a lieu d'y faire dans le but d'utiliser aussi bien que possible les eaux de pluie qu'ils ont reçues.

I. — Terrains primitifs.

Les roches primitives : granits, gneiss, etc., sont généralement considérées comme imperméables ; mais souvent elles sont traversées par des fissures (*diaclasses*) ou des filons qui permettent aux eaux de pluie d'y pénétrer à des profon-



deurs plus ou moins grandes, et de plus elles sont presque toujours décomposées sur une certaine épaisseur.

Pendant la décomposition des granits, il se forme des fragments de toutes sortes de grosseurs : de l'argile, du sable fin, des paillettes de mica, des grains de quartz et de feldspath, etc. Suivant leur poids et leur volume, suivant la pente sur laquelle ils sont accumulés, ces débris restent en place sur le roc qui les a fournis ou sont entraînés par la pesanteur et les eaux.

Sur les pentes faibles, il reste une terre légère et sablonneuse, appelée *arène* en certains pays. Sous le soleil de l'été, elle devient brûlante. Par contre, le sous-sol, de roche, étant imperméable, il regorge d'eau dans les saisons pluvieuses ; il est froid en hiver et quelquefois soulevé par le gel. Ce sont les deux extrêmes superposés. Généralement, on laboure en travers de la pente, afin d'empêcher que les eaux entraînent trop de particules terreuses.

Sur les hauteurs et sur les fortes pentes, on trouve souvent le roc complètement à nu.

La terre s'accumule dans les vallons. Elle y est non seulement plus profonde, mais elle y est mélangée d'argile et plus ou moins imprégnée de carbonates alcalins et terreux que les eaux ont enlevés aux environs. Cette dénudation des parties hautes au profit des parties basses est plus rapide quand le sol est labouré, moins rapide quand il est boisé ou engazonné.

Sous cette couche meuble, le roc est plus ou moins altéré, plus ou moins rempli de fissures. Il est plus près de la surface dans les parties élevées. Dans les vallons, il est souvent couvert de plusieurs mètres de détritits et de terre. Le roc ne suit donc pas exactement les mêmes ondulations que la surface ; il a des ondulations plus prononcées que celle-ci.

Dans les pays granitiques, tous les vallons que l'on voit extérieurement existent avec toutes leurs ramifications dans le sous-sol. Les eaux de pluie qui s'infiltrent à travers la couche de sable coulent sur ce roc. Après en avoir rempli les fissures, ils se réunissent dans les dépressions et forment sous terre des ruisseaux qui tantôt s'écoulent invisibles, tantôt



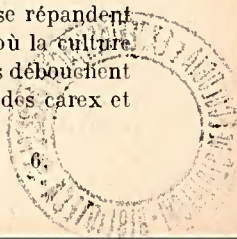
surgissent en sources. Dans la plupart des terrains granitiques, les sources sont très nombreuses, mais, précisément parce qu'elles sont nombreuses, la surface qui les alimente ne peut pas être très grande pour chacune d'elles. Elles n'ont donc, la plupart, qu'un faible débit, et quelquefois ce débit ne résiste pas à une sécheresse prolongée. Les sources les plus persistantes se trouvent dans les dépressions qui correspondent aux grandes surfaces tout entières inclinées vers ces dépressions.

« L'immense quantité de vallées et de petits ruisseaux, dit E. de Beaumont, qui sillonnent dans toutes les directions les montagnes granitiques du Limousin et de l'Auvergne, se reproduisent dans la partie de la Vendée, de la Bretagne et des Vosges, dont le sol appartient aux terrains cristallisés. Cette disposition est si prononcée qu'on peut tracer approximativement les limites de ces terrains par la seule considération des cours d'eau. »

Cette abondance de sources qui caractérise les contrées granitiques permet de disséminer les habitations et les fermes, tandis que dans d'autres formations, par exemple dans les terrains jurassiques et crétacés, les habitants sont forcés de se grouper en grands villages, le long des rares cours d'eau qui les traversent, et d'abandonner à la vaine pâture ou à une culture très extensive les plateaux qui s'éloignent des centres de population.

Après avoir traversé les arènes légères qui se trouvent à la surface des plateaux, les eaux circulent plus ou moins vite dans le tuf du sous-sol et apparaissent en filets nombreux à la partie supérieure des pentes, ou bien, s'infiltrant dans les fissures et dans les filons de quartz effrité qui traversent les roches, elles débouchent plus bas et donnent lieu à des sources plus ou moins abondantes sur les points où ces conduits naturels viennent affleurer.

Quand ces eaux n'ont pas d'autre issue, elles se répandent dans les champs et y produisent des fondrières, où la culture est difficile et où les récoltes souffrent. Lorsqu'elles débouchent dans les prés, les graminées sont remplacées par des carex et des joncs, et le sol tend à devenir tourbeux.



Il faut alors ouvrir une tranchée à pente aussi forte que possible avec quelques embranchements jusqu'aux points où l'épanchement des eaux se signale par l'humidité de la terre ou la mauvaise qualité des herbes, et y faire des drains en pierres ou en tuyaux.

Les gneiss et les micaschistes fournissent des pierres plates qui conviennent très bien pour les construire.

Quand on n'a pas de pierres plates, on met les plus grosses au fond de la tranchée et les petites au-dessus.

Mais, pour ces drains en pierres, il faut creuser des tranchées plus larges que pour les drains en tuyaux, et il n'y a réellement avantage à les faire que si les matériaux se trouvent sur place. Ils proviennent des défoncements, labours profonds et épierrements que l'on a pratiqués sur les champs voisins. Pour drainer des surfaces d'une assez grande étendue, il est presque toujours plus économique de se servir de tuyaux en terre cuite.

Les agriculteurs des régions granitiques du département du Tarn distinguent les terrains qui sont devenus marécageux uniquement par suite des pluies tombées directement sur eux, et ceux où viennent en outre s'accumuler des eaux amenées par les sources ou les ruisseaux des coteaux plus élevés. Les paysans du Sinobre donnent aux premiers le nom patois de *Sagnenc* et aux seconds celui de *Glandoulenc*.

On trouve les premiers sur les hauts plateaux du Sinobre, dans les endroits qui forment cuvette et dans lesquels les eaux de pluie s'accumulent sans pouvoir s'écouler : ces terrains-là, dit Bernard Lavergne, on n'a ordinairement rien de mieux à faire que renoncer à leur culture et y laisser pousser des bois ou des ajoncs.

Les eaux douces, et souvent aussi celles des petits ruisseaux, sont réunies dans des réservoirs pour arroser les prés qui se trouvent ou que l'on établit au-dessous.

La capacité de ces réservoirs, que l'on appelle *serbes* dans la Corrèze ou *pêcheries* dans la Haute-Vienne, est en général calculée de manière qu'ils puissent se remplir en deux ou trois fois vingt-quatre heures, pendant les mois de mars et d'avril.



On rend le fond du bassin imperméable au moyen d'argile battue, et on l'entoure d'un mur de 0^m,60 à 0^m,70 d'épaisseur sur 1 mètre à 1^m,40 de hauteur, soutenu extérieurement par un contrefort en terre. Une bonde en châtaignier permet de faire écouler l'eau. Les *lévados* ou rigoles sont étagées les unes au-dessus des autres sur les pentes des coteaux, en sorte qu'on peut arroser par reprise d'eau.

Les Limousins se contentent ordinairement de tracer les rigoles à vue d'œil ; mais elles ont souvent trop de pente, et l'eau, s'accumulant à l'extrémité inférieure, y développe des joncs et des carex, tandis qu'elle se trouve en trop petite quantité dans le milieu. Il faudrait se servir du niveau d'eau pour faire des rigoles dont la pente ne dépasserait pas 1 à 1^{cm},5 par mètre.

Grâce à l'accumulation des eaux dans ces pêcheries, on peut leur donner plus de *chasse*, comme on dit, et les employer ainsi à l'arrosage d'une plus grande surface. Mais il est essentiel que les eaux passent sur le terrain et s'y infiltrent ou s'écoulent, sans s'accumuler et rester stagnantes. Autrement, elles développeraient dans les prés plus de carex et de joncs que de bonnes plantes fourragères, et il faudrait un nouveau drainage pour les emmener au loin.

Les prairies situées dans les vallées au bord des ruisseaux sont souvent trop humides et ne donnent qu'un foin grossier et peu nourrissant. Là, un fossé de circonvallation est utile pour empêcher les eaux qui proviennent des fonds supérieurs de venir s'accumuler sur la terre argileuse de ces bas-fonds. Quelquefois même, un drainage régulier est nécessaire pour assainir complètement ces prairies, et alors l'emploi des tuyaux en terre cuite est préférable.

Les eaux sortant du granite ne contiennent pas de sulfate de chaux et très peu de carbonate de chaux. Elles dissolvent donc parfaitement le savon et conviennent bien pour la cuisson des légumes, pour le décreusage de la soie, le blanchiment et la teinture des étoffes, etc.

D'après Truchot, des eaux sortant des terrains granitiques de l'Auvergne contiennent par litre :



	SILICE.	CHAUX.	POTASSE.	SOUDE.	ACIDE phosphorique.
	milligr.	milligr.	milligr.	milligr.	milligr.
Montaigut	40,0	traces	2,7	2,0	traces
La Celle (fontaine).....	90	2,4	2,5	3,6	traces
Sauviat (fontaine de la Sainte- Vierge).....	29,9	25,0	1,9	6,4	traces
Etaudeuil (fontaine).....	28,5	13,5	8,2	13,5	traces

D'après Belgrand, les titres hydrotimétriques des eaux de sources des terrains granitiques du Morvan varient entre 2 à 7°. Celles qui contiennent le plus de chaux proviennent de variétés de roches dans lesquelles l'orthose est mêlée d'oligoclase ou dont le mica est remplacé par de l'amphibole. Dans le Limousin, les eaux qui font le plus de bien aux prés sont celles qui ont traversé des terrains provenant de la décomposition de ces roches.

Lorsque les granites sont traversés par des fissures profondes, il peut en résulter des sources dont les eaux sont à la fois plus abondantes et plus pures que celles qui circulent dans les parties décomposées de la surface. En les captant au moyen d'aqueducs à recouvrement étanche, on a réussi à obtenir des eaux excellentes pour l'alimentation des villes de Rennes, Quimper, Lorient et Limoges.

Le quartz et le leptinite, dit Émilien Dumas dans sa *Statistique géologique du Gard*, forment sur divers points granitiques des Cévennes de nombreux et puissants filons. Ces filons, qui montrent leur tête sous forme de dyke, jouent un rôle important dans le régime des eaux de ces terrains : ce sont des barrages naturels qui retiennent non seulement une partie des eaux pluviales courantes à la surface du sol, mais qui arrêtent encore dans les profondeurs les eaux pluviales déjà infiltrées. C'est contre les salbandes argileuses placées en amont et au toit de ces divers filons que les infiltrations viennent s'arrêter et donner lieu à des nappes aquifères verticales.

Les habitants des Cévennes, connaissant fort bien ce phénomène, désignent ces filons sous le nom de *carals* ou *conducteurs d'eau*. C'est surtout aux environs de Saint-Jean-du-Gard qu'on a su utiliser les nombreux filons aquifères qui sillonnent le terrain de cette localité. Lorsque, d'un point élevé, on jette un coup d'œil sur les pentes des montagnes qui entourent cette commune, on est frappé de voir çà et là, répandus avec une espèce de régularité, de petits jardins échelonnés sur les hauteurs ; c'est qu'à chacun de ces jardins correspond une petite source naturelle s'échappant d'un même filon. Par une galerie à travers banc percée sur le filon, on a donné issue à l'eau.

2. — Terrains volcaniques.

En Auvergne, les basaltes fissurés verticalement laissent descendre les eaux qui tombent sur les plateaux jusqu'aux argiles imperméables qui supportent ces basaltes ; il se forme des sources sur la ligne de jonction des argiles et des basaltes, et beaucoup de villages sont situés sur cette ligne.

Dans la Haute-Loire, le plateau volcanique du Velay présente également, au-dessous des scories et des basaltes pierreux et remplis de fentes, des assises imperméables formées par la décomposition de ces roches, assises qui arrêtent les eaux et donnent naissance à des sources (1).

Ces eaux sont très riches en chaux, en potasse et en acide phosphorique. Aussi sont-elles très estimées pour l'irrigation, surtout pour celle des terrains granitiques, qui se trouvent souvent, en Auvergne et dans le Cantal, au-dessous des massifs ou des coulées volcaniques.

3. — Terrains primaires.

Dans le Cotentin et le Bocage normand, les schistes du *cambrien* et du *silurien* fournissent, en se décomposant, des

(1) DAUBRÉE, Les eaux souterraines, 1887.



terres fortes qu'il est souvent utile de défoncer et de drainer. On peut se servir des roches que l'on extrait par le défoncement pour faire les drainages.

Les bancs de calcaire qui sont quelquefois intercalés dans les schistes et les grès, par exemple aux environs de Saint-Lô, sont fissurés et contiennent de l'eau.

A Grandjouan, en Bretagne, des terres achetées autrefois 100 francs l'hectare ont été rendues très productives au moyen d'une dépense de 500 francs par hectare, dont 180 francs environ pour le drainage.

A l'autre extrémité de la Bretagne, au Brohet-Beffon, M. le comte de Troguindy a transformé, par le drainage et les phosphates, des marais improductifs en herbages et champs excellents. Au lieu de tuyaux, il s'est servi de plaques de schistes pour faire ses drains. Les labours profonds lui en ont fourni de grandes quantités, et l'assainissement ainsi fait ne lui a pas coûté plus de 150 francs par hectare.

Dans les Ardennes, le *dévonien* forme des plissements ou séries de creux qui contiennent des couches calcaires très fissurées. Il y a parfois des bétouires ou entonnoirs sur ces calcaires. Les eaux des pluies les traversent et vont s'accumuler dans le fond des synclinaux ou glisser le long de ces thalwegs souterrains. Si une faille ou une vallée les coupe, il se produit de belles sources.

Dans le *système permo-carbonifère*, on trouve des terres qui varient depuis les plus argileuses (*Beluzes*) jusqu'aux sables les plus secs (*Varennnes*) ; sources nombreuses sur les bancs d'argile ou de roches compactes. Quand les couches sont horizontales, les infiltrations des eaux des pluies sont arrêtées par les bancs d'argile. Quand elles sont inclinées, ces infiltrations peuvent se produire sur la tête de leurs affleurements, et il se forme ainsi des filets d'eau souterrains qui circulent dans les parties sablonneuses.

Dans les montagnes des Vosges, le *grès rouge* se compose de couches alternatives de grès grossier et d'argiles rouges.



4. — Terrains secondaires.

Le grès des Vosges est presque toujours fissuré et n'a aucune assise qui puisse arrêter les eaux ; aussi n'y rencontre-t-on que peu de sources sur les flancs des montagnes ; elles apparaissent ordinairement dans le fond des vallées. Dans le pays de Bitche, tous les villages sont, comme les sources, groupés dans les vallées et le reste de la contrée est à peu près inhabité.

« Malgré sa porosité assez sensible, dit M. Braconnier (1), le grès bigarré ne laisse passer les eaux qu'avec une extrême lenteur. Les lits irréguliers de schistes argileux qu'il renferme contribuent à son imperméabilité ; aussi les étangs sont-ils nombreux à sa surface. Les eaux ne s'infiltrant guère que grâce aux fissures verticales dont le grès est plus ou moins sillonné et qui s'arrêtent le plus souvent sur les lits d'argile. En raison de l'irrégularité de ces lits qui retiennent les eaux, la situation des nappes aquifères est très variable ; mais, en général, on les trouve à de faibles profondeurs sous les plateaux. »

Au milieu des forêts qui couvrent la plus grande partie des Vosges, la production agricole n'occupe que les fonds de vallées où la terre fine, plus ou moins mêlée d'argile, s'est accumulée et donne quelque espoir de payer ses travaux.

Elle a utilisé tous les filets d'eau pour irriguer ses prés ; mais les sources qui sortent du grès des Vosges sont pauvres en matières fertilisantes, comme les roches qu'elles ont traversées. On a cherché à remplacer la qualité des eaux par leur quantité ; sur certaines prairies, on emploie jusqu'à 100 litres et quelquefois plus par seconde et par hectare. On arrive ainsi à des rendements de 5 000 kilogrammes de foin et 1 500 kilogrammes de regain par hectare, mais ce sont des fourrages peu nourrissants ; ils ne comprennent presque pas de légumineuses. Il vaudrait mieux employer moins d'eau pendant l'hiver et compléter son action par des engrais chimiques :

(1) BRACONNIER, *Description des terrains de Meurthe-et-Moselle*, 1883.



phosphates de chaux ou scories de déphosphoration que l'on répandrait sur les prés au printemps.

C'est dans le grès des Vosges que Chevandier de Valdrôme avait fait ses intéressantes expériences sur la production des bois. Il avait trouvé que, pour des sapins, l'accroissement moyen annuel, sur quatre-vingts à cent ans, était :

Dans les terrains fangeux, de.....	1 ^{kg} ,89	par arbre.
Dans les terrains secs, de.....	3 ^{kg} ,40	—
Dans les terrains arrosés par l'accumulation des eaux pluviales, de...	8 ^{kg} ,20	—
Dans les terrains arrosés par des eaux courantes, de.....	11 ^{kg} ,60	—

D'après cela, il avait établi des séries de fossés horizontaux à 12 à 15 mètres de distance pour retenir les eaux de pluie et les forcer à arroser ses arbres, au lieu de s'écouler immédiatement le long des pentes.

Mais les eaux courantes se sont montrées supérieures aux eaux de pluie à cause des matières azotées et minérales qu'elles tiennent en dissolution. En Lorraine, le *calcaire coquillier* ou *muschelkalk* se compose de deux sous-étages, chacun de 70 à 100 mètres d'épaisseur. Le sous-étage inférieur, où les bancs de calcaires dolomitiques alternent avec des marnes et des glaises bigarrées, retient les eaux de pluie qui ont traversé le sous-étage supérieur très fissuré et très perméable. Il en résulte un niveau d'eau qui donne lieu à un grand nombre de sources. Ces sources arrosent les belles prairies établies dans les vallons. Sur les plateaux qui les séparent, la luzerne réussit à merveille. Partout, c'est une terre excellente, tant par sa composition chimique que par ses propriétés physiques.

Il en est tout autrement pour les *marnes irisées*; elles sont, en Lorraine, tellement imperméables que les eaux de pluie ne peuvent pas y pénétrer et se rassemblent à leur surface en flaques stagnantes que l'on a souvent utilisées pour en faire des étangs et y élever du poisson.

Au-dessous des étangs, les ruisseaux et les rivières coulent lentement, faisant de nombreux contours dans les vallons à faible pente que forment les dépressions des plateaux. La plupart de ces larges vallées sont couvertes de prés, quel-



ques-uns marécageux et montrant pendant les sécheresses des efflorescences, au milieu desquelles croissent des plantes salicoles, telles que le *Salicornia herbacea*. Des rectifications de cours d'eau, des drainages pourraient améliorer considérablement les produits de ces prairies. On devrait également en augmenter l'étendue aux dépens des terres les plus fortes, dont la culture est très dispendieuse. La jachère est presque toujours indispensable pour obtenir des récoltes de blé, qui restent médiocres et ne peuvent que rarement payer au fermier un profit net. Il vaut mieux profiter de l'aptitude naturelle que les terres ont à s'enherber pour en faire des prés et concentrer toutes les forces de la culture sur les terres hautes, et même, parmi les terres hautes, sur les meilleures et les plus rapprochées des fermes, en réservant toutes les autres pour la production du bois. Le drainage ferait partout du bien ; mais il coûte trop cher dans les terres qui ne sont pas bien fumées et défoncées. Dans cette formation des marnes irisées, il ne peut se former des réservoirs pour les eaux de pluie, et par conséquent des sources, que dans les assises de calcaire dolomitique ou de grès (Keuper) qui y sont intercalées ; ces sources sont peu volumineuses et très sujettes à tarir en été.

Terrains jurassiques. — On peut diviser les terrains jurassiques en trois groupes, dont chacun est composé d'une base argileuse ou marneuse que surmonte une masse plus ou moins considérable de calcaires remplis de fissures, de crevasses et souvent de cavernes et, par conséquent, très perméables. Les argiles du lias forment la base de l'oolithe inférieure, les marnes d'Oxford celle de l'oolithe moyen et les marnes du Kimmeridge celle du portlandien. On pourrait y ajouter les marnes du bathonien, qui font une sous-division dans l'oolithe inférieure.

Outre ces couches principales de marnes et d'argiles, il y en a de moins importantes dont les lits plus minces sont éparés au milieu des calcaires ; mais il ne peut s'y former que des sources très faibles.

Les eaux de pluie qui tombent sur les hauteurs élevées des plateaux jurassiques y disparaissent rapidement ; elles



s'engouffrent dans les fissures, entraînent avec elles les marnes qu'elles rencontrent sur leur passage et agrandissent de plus en plus ces conduits souterrains. Elles produisent ainsi, à la surface des plateaux, des sortes d'entonnoirs, appelés *emposieux* dans les montagnes du Jura, *bétoires* dans le département du Lot, *katavothres* en Grèce, et, dans l'intérieur du massif, des réservoirs.

Une des choses qui nous frappent le plus, lorsque nous parcourons des contrées jurassiques, ce sont des vallons complètement secs où l'on cherche en vain la trace d'un ruisseau au milieu des champs pierreux qui les couvrent. Quelquefois le ruisseau réussit à se former, grâce aux longues pentes couvertes de gazon ou grâce à quelques lambeaux de marne qui affleurent au milieu des calcaires. On le suit pendant quelque temps ; mais tout à coup on ne le voit plus, il s'est perdu dans un abîme. Quelquefois les ruisseaux persistent pendant la saison des neiges et des pluies, quelquefois même ils réussissent à former des étangs ou des lacs pendant cette saison ; mais ils sont à sec en été. Nous avons vu dans les Alpes Juliennes, près de la fameuse grotte d'Aldelsberg, au-dessus de Trieste, un fond de vallée où l'on récolte de l'avoine et du foin en été et du poisson en hiver. Ailleurs le lac subsiste toute l'année ; mais on n'en voit sortir aucune rivière ; il a son débouché dans les crevasses de la montagne.

Toutes ces eaux traversent les fractures des roches calcaires jusqu'à ce qu'elles soient arrêtées par des couches de marnes ou d'argiles. Là, elles produisent des sources nombreuses, et cette inégale répartition des eaux a des conséquences très importantes sous le rapport économique. Tandis que, dans les contrées granitiques, les fermes sont éparses comme les sources, elles sont réunies, dans les contrées jurassiques, en gros villages le long de rivières qui coulent au fond des vallées. C'est à la surface du lias que débouchent les sources les plus abondantes formées au milieu des calcaires perméables qui les dominent. Les eaux de pluie qui tombent directement sur ces terres imperméables y ruissellent, ravinent les parties supérieures et entraînent dans le fond des vallées la terre meuble qui couvre les pentes. C'est un sol



très riche comme composition chimique ; l'acide phosphorique n'y manque pas, et toutes les cultures peuvent y donner des produits superbes ; mais le travail y est difficile et coûteux. Au printemps et en automne, il est souvent impossible d'y faire des labours ; il faudrait les drainer pour arriver à supprimer la jachère et faire des plantes sarclées comme préparation pour le blé. Mais à quoi bon faire ces dépenses, quand les prix des récoltes ne peuvent pas les payer ? Il vaut mieux profiter de l'aptitude naturelle des terrains du lias à produire des herbes et des légumineuses pour y créer des pâturages. Ces pâturages n'ont besoin d'être drainés que sur les points les plus humides, et l'on peut profiter de l'eau que donnent les drains pour établir des abreuvoirs.

Outre cette grande nappe d'eau qui se forme sur le lias, on en trouve de fort importantes au-dessus des marnes oxfordiennes et des argiles de Kimmeridge, et de plus petites à la surface des bancs de marnes qui sont épars dans le bathonien et dans le haut du corallien. Quelquefois aussi des dépôts quaternaires sont venus superposer des couches plus ou moins imperméables aux calcaires fissurés de la série jurassique.

Mais le plus souvent ces calcaires forment des plateaux secs et arides, comme ceux des Causses de l'Aveyron et de la Lozère. Les habitants n'y ont pas d'autre ressource que les citernes, où ils emmagasinent l'eau des pluies tombées sur les toitures de leurs bâtiments et les mares ou *lavagnes* qui se forment temporairement dans les dépressions du sol.

Mais, quand la sécheresse dure trop longtemps, les citernes et les lavagnes sont vides, et il faut alors aller chercher l'eau dans le Tarn et le Lot. Quelquefois cette eau se vend sur le Causse à raison de 25 centimes le litre (1). Les cultures doivent aussi s'adapter à ce régime de sécheresse : sur les Causses, ce sont les pâturages à moutons qui prédominent. Mais sur les montagnes du Jura, où les pluies sont plus abondantes et plus fréquentes, la croissance de l'herbe est plus régulière, et l'on peut y nourrir des bêtes à cornes. Le climat y corrige les

(1) E. CORD, Étude géologique et agricole des terrains du département de la Lozère.



défauts du terrain. Dans les parties les plus arides et les plus éloignées des villages, c'est la forêt qui couvre de vastes étendues.

Les eaux de pluie qui traversent les massifs jurassiques s'y chargent de calcaire. On peut en juger par les stalactites qui se forment dans les grottes à l'intérieur de ces massifs et par les incrustations que les sources déposent à leur sortie.

Quelquefois ces eaux sont tellement *tuffeuses* qu'elles sont nuisibles, non seulement aux prés qu'elles arrosent, mais au bétail qui s'en abreuve.

Les vaches maigrissent, perdent peu à peu leur lait et, chose curieuse, montrent une disposition invincible à ronger le bois de leur crèche.

Nous connaissons plusieurs fermes où l'on a été forcé de renoncer à tenir des vaches à lait et de se borner à faire de l'élevage, parce que les eaux des fontaines y étaient trop chargées de carbonate de chaux et probablement aussi trop pauvres en oxygène, ce qui marche de pair.

C'est seulement quand les eaux ont traversé des tourbières mélangées de fragments de roches calcaires qu'elles se chargent de quantités de carbonate de chaux assez grandes pour devenir mauvaises pour l'irrigation et pour l'alimentation. Les matières organiques leur enlèvent en même temps leur oxygène pour en faire de l'acide carbonique qui favorise la dissolution du carbonate de chaux. Quand ces eaux forment des cascades sur les rochers ou font tourner des roues d'usines, quand elles traversent des couches de graviers ou séjournent dans des bassins à large surface, une partie de l'acide carbonique qu'elles contiennent se dissocie, et le carbonate de chaux qui se précipite forme à la surface des roches des incrustations. En même temps, les eaux reprennent de l'oxygène à l'air et deviennent peu à peu moins nuisibles pour l'irrigation et l'alimentation.

Dans tous les cas, elles font moins de bien aux terrains calcaires qu'aux sols d'origine granitique qui ont besoin de chaux, et, réciproquement, sur les terrains jurassiques, les eaux qui sortent des granites, ou d'autres formations riches en potasse, sont plus utiles que les eaux jurassiques.



Terrains infracrétacés. — Dans le nord de la France, les terrains infracrétacés, composés d'argiles et de sables verts, forment entre les derniers coteaux jurassiques de la Lorraine, de la Bourgogne et les plateaux de la Champagne crayeuse, une zone dont la largeur varie de 10 à 20 kilomètres environ et que l'on appelle quelquefois la Champagne humide, parce qu'on y voit beaucoup de prairies marécageuses, d'étangs et de forêts.

Cette région déprimée et humide se prolonge depuis les départements des Ardennes et de la Marne jusque dans ceux de l'Yonne et de la Nièvre, où elle se nomme la *Puisaye*.

Outre les bois, ce sont les prairies qui conviennent le mieux dans cette contrée, permanentes dans les parties basses, temporaires dans les terrains élevés qui s'égouttent mieux ou qu'il est facile de drainer.

Même lorsqu'elles ne sont pas à découvert, ces couches argileuses qui se trouvent au-dessous de la craie jouent un rôle considérable dans le régime hydrographique du nord-ouest de la France. Elles forment une sorte de cuvette qui est inclinée vers l'ouest ; à l'est de la Champagne, elles sont à plus de 100 mètres au-dessus du niveau de la mer ; à Grenoble, à plus de 500 mètres au-dessous, et sur les côtes de la Manche elles affleurent à ce niveau, en sorte que les eaux qu'elles ont ramassées en Champagne, coulant vers l'est, ont permis d'établir des puits artésiens à Paris, sur les plateaux du Pas-de-Calais ; les sources qui débouchent à leur surface sur les bords de la mer sont à découvert à marée basse et jaillissent au milieu des galets de la grève. Ces sources fournissent également de l'eau aux vallées les plus profondes du pays de Caux, de la Picardie et de l'Artois.

Dans le sud-est de la France, les terrains infracrétacés n'ont pas tout à fait les mêmes caractères que dans le nord ; à la Grande-Chartreuse, toute la formation infracrétacée, avec environ 1 000 mètres de puissance, se développe en amphithéâtre autour du couvent bâti sur la couche marneuse qui la sépare de la base jurassique de la montagne, et elle domine la vallée de l'Isère jusqu'à Grenoble et Voreppe.

Le néocomien, qui, à lui seul, a de 500 à 600 mètres de hau-



teur, forme des pentes cultivées, gazonnées ou boisées, interrompues de loin en loin par des saillies rocheuses.

Au-dessus d'elles s'élèvent, en crêtes abruptes et en assises épaisses, les calcaires plus compacts et plus blancs de l'urgonien, qui ont également une puissance de quelques centaines de mètres. Dans la moitié supérieure, on trouve quelques banes de marnes (*marnes à orbitolines*) ; mais ils sont trop rares et trop minces pour modifier le caractère général de ce terrain aride et pierreux.

Les calcaires de l'urgonien se décomposent moins facilement que ceux du néocomien. Sur les hauteurs déboisées et sur les pentes rapides, la terre ne se forme pas assez vite pour remplacer celle que les vents et les pluies ont entraînée. Il ne reste que des rochers fissurés et remplis de crevasses ou *avens*, dans lesquelles les eaux vont s'engouffrer pour se rassembler au niveau des marnes néocomiennes et reparaitre en sources abondantes sur les pentes où ces marnes viennent affleurer. Ces sources seraient encore plus belles et surtout plus régulières, si la surface des plateaux urgoniens était couverte de forêts, au lieu d'être constamment brûlée par le soleil du Midi.

A l'est du département de Vaucluse, les calcaires fissurés de l'infracrétacé forment aussi la masse principale des Alpes où s'alimentent les rivières qui arrosent les plaines du Comtat, et, entre autres, la célèbre fontaine de Vaucluse.

Tandis que, plus haut dans les Alpes, les pluies torrentielles, tombant sur les couches imperméables et déboisées du lias, les ravinent, entraînent la terre arable et appauvrissent le pays de plus en plus, les eaux sont absorbées et emmagasinées dans les *avens* des calcaires néocomiens qui leur servent de bassins régulateurs, et, grâce aux irrigations, elles sont devenues le principal élément de richesse du département de Vaucluse. Barral portait à 2 115 hectares la surface irriguée par les Sorgues qui sortent de la fontaine de Vaucluse et à 1 726 chevaux-vapeur la force utilisée par les usines construites sur ces canaux ; il estimait à 8 ou 9 millions par an l'accroissement de richesse qui en résulte pour la contrée.

Le nom de Vaucluse vient de *vallis clausa*, le val fermé,

et, en effet, la fontaine sort au pied d'une roche escarpée qui ferme la vallée comme un rempart de pierre. « Au-dessus et de chaque côté de la source, dit M. Mézières, montent en demi-cercle d'énormes murailles d'un ton gris, quelquefois veiné de rouge, dont la partie supérieure, dentelée et déchirée, découpe vaguement sur l'horizon des formes de crêneaux et de tourelles gothiques. Ça et là un trou béant, un nid d'aigle ou un pin suspendu entre ciel et terre, cramponné par ses racines aux flancs du rocher, marquent d'une tache noire les parois de cette forteresse naturelle.

« A la racine même de ces rochers, s'ouvre une caverne d'où jaillit la rivière qui descend aussitôt par une pente rapide, bondissant avec fureur au milieu des blocs noirâtres qu'elle couvre d'une écume blanche. Dès qu'elle se repose, dès qu'elle ne rencontre plus d'obstacles, elle étend entre deux rives fleuries une nappe limpide, d'une couleur merveilleuse, dont je n'ai trouvé nulle part, ni dans les Alpes, ni dans les Pyrénées, ni en Italie, ni en Espagne, ni en Orient, les teintes douces et transparentes. Le lac de Zurich est moins pur, le lac de Côme plus bleu, la Méditerranée plus foncée ; les fleuves célèbres, le Pénée, l'Alphée, l'Archéloüs, sont plus argentés ; le Styx et l'Achéron plus noirs ; l'Arno, le Tage, le Guadalquivir, le Rhône plus troubles. La Sorgues seule, d'un vert tendre à la surface et jusqu'au fond de son lit, ressemble à une plante qui se serait fondue en eau. C'est comme une herbe liquide qui court à travers les prés. »

En multipliant l'action du soleil du Midi par celle de l'eau, suivant la formule du comte de Gasparin, on produit une riche végétation. Or, que contient l'eau de la Sorgues ? — Elle contient par litre :

Alumine, silice, fer carbonaté.....	0gr,0053
Carbonate de chaux.....	0gr,1633
— de magnésie	0gr,0053
Sulfate de chaux.....	0gr,0147
— de magnésie.....	0gr,0004
Résidu total.....	0gr,1890

Du carbonate et du sulfate de chaux, un peu de carbonate et de sulfate de magnésie, des traces de fer, voilà tout ce que



les eaux de pluie ont pu dissoudre en traversant les roches néo-eomiennes et urgoniennes. Ce sont des eaux pauvres en matières fertilisantes ; ce n'est pas encore de l'*herbe liquide* ; pour obtenir de leurs prairies irriguées trois coupes par an, ou 7 000 à 8 000 kilogrammes de foin par hectare, les cultivateurs du Comtat sont obligés d'ajouter à la formule du comte de Gasparin son troisième facteur : l'*engrais*.

Terrains crétacés. — La formation de la craie a commencé par des terrains qui ressemblent encore, jusqu'à un certain point, aux argiles et aux sables verts de l'infra-crétacé.

Ainsi, dans le Perche, les marnes du éénomien et, dans la Thiérache, au nord du département de l'Aisne, les *dièves* argileuses forment sous le limon des plateaux une base imperméable qui retient les eaux et permet d'y créer de magnifiques herbages. Les bancs inférieurs de la craie sont eux-mêmes marneux et imperméables, tellement imperméables que les galeries préparatoires pour un tunnel sous la Manche, creusées dans ces bancs, sont restées à peu près étanches sur plusieurs kilomètres, quoiqu'elles ne fussent séparées de la mer que par une épaisseur de quelques mètres.

Mais la craie blanche elle-même est perméable, parce qu'elle est remplie de fissures. Les eaux pluviales qui tombent à sa surface descendent dans ces fissures jusqu'aux couches plus compactes ou plus marneuses. « Si le sol était horizontal, dit Belgrand, les eaux, après avoir saturé la roche, remonteraient jusqu'à la surface du sol, qui deviendrait marécageux.

« Quand, au contraire, la surface du sol est découpée par de nombreuses vallées, comme c'est le cas dans le bassin de la Vanne et de la plupart des petites rivières de la Champagne, la nappe d'eau, produite par l'absorption des eaux pluviales, ne peut remonter sur les plateaux jusqu'à la surface du sol ; son trop-plein se dirige, à travers la masse de la craie et avec une très forte pente, vers la vallée la plus profonde qui forme appel, absolument comme un tuyau de drainage. Le fond de la vallée recevant l'eau par les fissures peut être submergé d'une manière permanente et transformé en marais tourbeux. La nappe d'eau se relève donc dans le sol perméable de chaque côté du fond de la vallée principale. Si l'affleurement de la



couche imperméable qui la supporte se fait au-dessus du fond d'une vallée, il s'y produit une source » (Belgrand, *la Seine*.)

En Champagne, ces sources portent le nom de *sommes* et elles sont bien, en effet, comme l'a remarqué Belgrand, l'origine, le sommet de chaque ruisseau.

« Ainsi, dans le département de la Marne, la source de la Suippe s'appelle *Sommesuippe* ; celle de la Vesle, *Sommevesle* ; celle de la Soude, *Sommesoude*, etc. ; dans le département de l'Aube, la source des Puits s'appelle *Sompuis* ; celle de l'Orvin, *Somme-fontaine*.

« Quelquefois les noms de ces sources sont dérivés du terme gallo-romain *Dhuie* ou *Duie* (de *ductus*, aqueduc, dont nous avons fait *conduite*) ; par exemple, dans l'Aube, la grande source de Soulaines, Dhuis, et la source d'Aix-en-Othe, vallée de la Vanne, Duée. On en trouve également qui proviennent du mot latin *fons* ; ainsi, dans le département de l'Aube, la source de la Vanne, *Fontvannes*, qui a été amenée à Paris ; la source de l'Arce, *Fontarce*, etc.

« Quelquefois la nappe d'eau souterraine se relève de chaque côté de la vallée principale par suite de la force ascensionnelle que lui donne l'inclinaison vers l'ouest des couches de craie marneuse qui la supportent, et si, dans ce relèvement, elle atteint le niveau du fond d'une vallée moins profonde, elle y produit une source que l'on appelle *Bème* ou *abîme*, ou *Ero*, *Gouffre*, *Fosse*. »

C'est surtout à l'aide de citernes et de puits, dit M. Nivoit (1), que les habitants des villages de la craie se procurent l'eau qui leur est nécessaire. Quand un puits vient d'être creusé, il a d'abord un faible débit ; ce n'est qu'au bout d'un certain temps qu'on voit l'eau arriver plus abondante, suée pour ainsi dire par les parois. Quand on tombe sur une fissure, on trouve naturellement plus d'eau.

Ces puits atteignent parfois de grandes profondeurs ; dans les villages élevés, ils peuvent aller jusqu'à 100 mètres et sont alors intarissables. Il est d'ailleurs facile de rendre leur débit

(1) Nivoit, *Géologie appliquée à l'art de l'ingénieur*, 1887-1889.



plus considérable en creusant au fond des galeries horizontales pour augmenter la surface du suintement.

L'eau fournie par un puits récemment creusé est presque toujours trouble et comme laiteuse. Mais c'est une circonstance dont il n'y a pas lieu de s'inquiéter, car les particules crayeuses qu'elle tient en suspension se déposent lentement, et l'eau devient limpide au bout de quelques mois.

La craie se colmate facilement. Ses pores sont bouchés par les petites particules crayeuses amenées par les eaux, et elle devient alors imperméable. C'est ce que prouve la présence des mares dans les villages champenois ; il suffit de curer ces mares et d'enlever la boue crayeuse qui en tapisse le fond pour que l'eau disparaisse. Pour le même motif, il faut, au contraire, curer les puits de temps en temps afin de rendre les suintements plus abondants.

Dans le nord-ouest de la France et jusqu'en Touraine et dans le Sancerrois, on trouve souvent, au-dessus de la craie, de l'*argile à silex* ou *bief* et, au-dessus de cette argile à silex, du limon quaternaire qui forme les terres les plus fertiles. Telle est, par exemple, la constitution géologique du pays de Caux. La base générale de toute cette contrée se compose de craie qui apparaît dans les falaises au bord de la mer et des principales vallées.

Dans ces vallées, les sources sont abondantes, amenées par la craie marneuse ; elles forment quelques rivières qui ont servi à la création de moulins et d'établissements industriels. On trouve dans ces vallées toutes les villes manufacturières de la Normandie.

Mais, sur les plateaux qu'elles drainent et qui ont une surface bien plus considérable, on ne trouve ni sources, ni centres de population de quelque importance. Les fermes sont dispersées dans la campagne, au milieu des champs qu'elles cultivent. Les communes ont souvent plusieurs lieues carrées d'étendue.

Dans ces fermes normandes, les cours sont très vastes. elles ont quelquefois 2 ou 3 hectares de surface. Ce sont de véritables vergers gazonnés, que l'on appelle *masures* dans le pays. Elles sont entourées de *fossés* qui sont tout le



contraire de véritables fossés ; ce sont des sortes de remparts en terre de 1^m,50 à 2 mètres de hauteur, qui servent de clôture et sur lesquels sont plantés, en double rangée, des chênes et hêtres souvent très grands. Ces arbres servent d'abri aux pommiers, qui auraient de la peine à nouer et à donner du fruit sous l'influence directe des vents de l'ouest. Les eaux de pluie qui tombent sur le gazon de la mesure se rassemblent dans une mare creusée dans le coin le plus bas et entourée également d'arbres de haute futaie qui la protègent contre une évaporation trop rapide. Ces eaux de mare, ordinairement très chargées de matières organiques, servent à abreuver le bétail, et l'on comprend qu'elles ne soient pas toujours sans inconvénients pour sa santé. Quant au personnel de la ferme, il a pour boisson habituelle une sorte de piquette de cidre qui se fabrique en ajoutant de l'eau au marc de pommes. La fermentation la purifie ; les matières nuisibles tombent au fond du tonneau, et le soutirage donne un liquide jaunâtre assez agréable et rafraîchissant, auquel on a soin de joindre de temps en temps quelques verres d'eau-de-vie de cidre.

Dans les châteaux et les habitations plus confortables que les simples fermes, on a des citernes maçonnées où l'on recueille les eaux de pluie tombées sur les toitures.

Pour faire des puits, il faudrait creuser jusqu'à la craie marneuse.

Les sources qui alimentent la ville du Havre (sources de Bruneval, de Notre-Dame-du-Bec et de Saint-Laurent) sortent de la craie marneuse. Elles proviennent exclusivement des pluies locales, dont l'écoulement, à travers l'argile à silex et la craie, dure environ trente mois.

5. — Terrains tertiaires.

Argile plastique. — Dans les départements de l'Oise, de l'Aisne et de l'Eure, l'argile plastique joue un rôle considérable, comme niveau d'eau. Elle garnit le fond de la grande vallée de l'Oise et remonte dans ses vallées latérales ; mais elle s'y dissimule ordinairement sous des alluvions épaisses ou sous les déboulis des sables nummulitiques et du calcaire



grossier qui forment les flancs de ces vallées et elle n'y révèle sa présence qu'en retenant les eaux qui arrivent des plateaux voisins et souvent par l'état marécageux qu'elle y produit. Pour se débarrasser de ces eaux, il faudrait des travaux trop dispendieux ; il vaut mieux profiter des aptitudes naturelles de ces terrains pour y conserver des forêts, comme celle de Compiègne, ou y faire de la culture maraîchère, comme aux environs de Soissons.

En se rapprochant de Paris, on trouve, dans le Vexin français, l'argile plastique à flanc de coteau, au-dessus de la craie qui forme le fond des vallées et au-dessous du calcaire grossier, plus ou moins recouvert de limon, qui s'étend sur les plateaux. C'est un niveau de sources qui devient important quand les masses de calcaire grossier et de limon qui le surmontent sont assez épaisses et occupent assez de surface pour absorber beaucoup d'eau de pluie.

Les sources qui jaillissent au niveau de l'argile plastique sont très nombreuses dans la vallée de la Marne, depuis Épinay jusqu'à La Ferté-sous-Jouarre, et sur la lisière qui sépare la Champagne de la Brie, entre la montagne de Reims et Montereau. Plusieurs des charmants villages qui s'étendent au pied des riches vignobles d'Épinay sont pourvus de fontaines alimentées par l'argile plastique.

Au sud-est de Paris, on rencontre l'argile plastique par lambeaux à la surface des plateaux crayeux du Sénonais et sur de vastes étendues dans la partie orientale du Gâtinais qui se trouve entre la vallée du Loing et la Puisaye de la Basse-Bourgogne. Le caractère généralement humide de toute cette contrée provient précisément de cette couche épaisse d'argile plastique.

Marnes vertes. — La plupart des terrains que nous trouvons, dans le bassin de Paris, entre l'argile plastique et les marnes vertes sont trop perméables pour donner lieu à des niveaux d'eau importants, quand ils sont à une certaine profondeur, ou pour avoir besoin de drainage, quand ils s'étendent à la surface du sol. Les sables moyens sont aussi secs que le calcaire grossier et pourraient, comme l'a dit M. Adolphe Carnot, servir d'absorbants pour les eaux d'égout de la ville de Paris.



Le calcaire de Saint-Ouen est plus argileux, plus difficile à travailler, parce qu'il devient trop humide après les pluies et trop compact après les sécheresses.

Il en est de même des marnes à gypse. Il est quelquefois utile de les drainer.

Quant aux marnes vertes, elles forment dans les vallées qui sillonnent la Brie une zone humide où viennent débouher les eaux qui ont réussi à traverser les terrains à meulières placés au-dessus d'elles. Villeneuve-Saint-Georges, Brunoy, etc., doivent à ce niveau d'eau leurs ombrages et leur fraîcheur. Les châteaux les plus importants, dit Belgrand, Vaux près de Meun, Ferrières, Saint-Germain près de Corbeil, n'ont pas dédaigné la petite source des marnes vertes. Ce même niveau d'eau alimente les puits dans la plupart des grandes et belles fermes situées sur les plateaux de la Brie.

Argiles à meulières de la Brie. — Les argiles à meulières, recouvertes en certains points d'une couche plus ou moins épaisse de limon, forment à la surface du plateau de la Brie des terres froides et humides, dans lesquelles le drainage a rendu d'immenses services. C'est dans le département de Seine-et-Marne, à Forges, près de Montereau, que M. du Manoir fit en 1840 les premiers essais du drainage en France, à l'aide d'ouvriers venus d'Angleterre avec l'outillage et les tuyaux nécessaires pour ce travail (1). En 1849, M. Chandora draina la ferme d'Égrenay, exploitée par M. Deauville, puis celles de Villaroche, d'Éprunes, etc. Son fils lui succéda en 1869 et, sous sa direction, d'immenses travaux de drainage ont été exécutés avec un succès complet dans le département de Seine-et-Marne et les départements voisins.

« Si le relief de la Brie, disait en 1871 Belgrand, le célèbre ingénieur qui a conduit à Paris les eaux de la Vanne et celles de la Dhuys (2), était assez accidenté pour donner un rapide écoulement aux eaux pluviales, cette région aurait une action désastreuse sur les crues du fleuve ; cela n'est pas douteux. Mais ces plateaux sont tellement unis que nos niveleurs, en

(1) JULES BÉNARD, Rapport à la Société d'agriculture de Meaux.

(2) BELGRAND, La Seine, 1869.



traçant l'aqueduc de la Vanne, se déplaçaient souvent de plusieurs kilomètres pour trouver une différence de niveau de 1 mètre. Les eaux pluviales séjourneraient donc à la surface de la Brie, et ce riche pays serait couvert de flaques d'eaux stagnantes, si les amas de meulières n'exerçaient sur les eaux extérieures une action de drainage qui en absorbe une partie, et si l'industrie humaine n'était venue en aide à la nature ; dans certaines régions, d'innombrables trous, restes d'anciennes carrières de meulières ou de marnes, servent de réceptacles aux eaux pluviales. C'est vers ces marnes que le fermier et le forestier intelligent conduisent le sillon profond qui assainit le champ ou la forêt.

« En outre, des *rus* (diminutif du mot *ruisseau*) profonds, creusés de main d'homme, sillonnent ces plateaux dans tout les sens et aboutissent aux affluents des grands cours d'eau ; ils contribuent à l'assèchement de la contrée et ont rendu possible le drainage qui a complété l'assainissement de la Brie. »

M. Arthur Brandin, un des agriculteurs les plus distingués de la Brie, a raconté l'histoire des améliorations qui ont été faites successivement dans la ferme de Galande (canton de Brie-Comte-Robert), occupée par sa famille depuis 1690 :

« La terre de Galande, dit-il, argilo-siliceuse, à sous-sol imperméable, était, comme la généralité des fermes briardes avant le drainage, humide et froide. Traversée par des fossés qui recevaient, alors comme aujourd'hui, les eaux de plusieurs communes voisines, elle souffrait d'autant plus de cette situation que ces fossés étaient peu profonds, entretenus par les uns, négligés par les autres, sans nivellement général et d'un tracé capricieux.

« De nombreuses mares creusées de main d'homme pour extraire des matériaux de construction ou des amendements, et même assez souvent dans le seul but d'assainir les terres, existaient sur toute la plaine. Des fossés les réunissaient entre elles, et toutes les eaux s'en allaient tant bien que mal à l'émissaire principal dénommé ru d'Handres. Dans les années pluvieuses, elles séjournaient, quelques soins que l'on prit, dans les bas-fonds, et le sol devenait d'autant plus



dur en été qu'elles avaient mis plus de temps à s'écouler.

« Pour faciliter l'écoulement des eaux, les champs étaient labourés en billons de 3 à 4 mètres. Lorsque le blé était semé, une sorte de buttoir en bois passait dans les dérayeurs pour en nettoyer le fond ; puis la charrue traçait, dans les directions transversales, d'autres rigoles plus profondes, que l'on achevait à la pelle et à la bêche et qui étaient destinées à conduire aux mares et aux fossés les eaux recueillies à la surface du champ.

« Les drainages, commencés en 1857, furent continués peu à peu de 1861 à 1869 ; mais l'inconvénient du procédé par demi-mesures, dans l'exécution d'un travail aussi important, se faisait manifestement sentir. En effet, négligeant les parties les moins humides, on s'était trop souvent contenté de poser des collecteurs dans les fossés et les mares que l'on supprimait et quelques drains secondaires dans les parties les plus basses. Bien peu de pièces avaient reçu ce drainage régulier, dont les lignes peuvent être, selon la nature du sol et du sous-sol, plus ou moins espacées, mais sans lequel il n'y a pas d'assainissement sérieux. Heureusement que les collecteurs étaient placés à une profondeur suffisante.

« Dans ces conditions, je n'hésitai pas à demander au propriétaire la continuation du drainage, malgré l'accroissement des charges permanentes qui devaient en résulter pour moi. Le drainage permet de supprimer les antiques billons de 3 mètres de largeur et de faire des planches de 15 à 20 mètres. On peut désormais labourer en tout temps des terres dans lesquelles jadis il était impossible de pénétrer après les pluies ; on peut faire les semailles plus tôt, employer les semoirs et tous les instruments perfectionnés. Les luzernes durent une année de plus et sont beaucoup plus belles.

« Sur les plateaux de la Brie, les *rus* sont secs pendant tout l'été. Ils ne coulent que pendant la saison des pluies et alimentent alors les sources qui débouchent dans les vallons secondaires au niveau des marnes vertes. On a remarqué que, depuis que l'on a drainé les plateaux et envoyé les eaux de ces drainages directement vers les cours des ruisseaux, un certain nombre de ces sources des marnes vertes ont tari.



« D'autres, plus régulières et plus abondantes, coulent plus bas le long des rivières dans les vallées principales, comme celles du Petit-Morin, du Clignon, et elles proviennent des terrains perméables compris entre les marnes vertes et l'argile plastique et sont groupées sur la ligne d'affleurement de cette argile plastique. »

Marnes à huîtres et sables de Fontainebleau. — Les sables de Fontainebleau, dont l'épaisseur atteint quelquefois de 40 à 60 mètres, absorbent rapidement toutes les pluies qui tombent à leur surface, et elles constituent ainsi des réservoirs dont la base se compose d'une couche de 2 à 10 mètres de marnes imperméables que l'on appelle *marnes à huîtres*, à cause de la grande quantité d'huîtres fossiles qu'elles renferment. Les villages bâtis sur les sables de Fontainebleau ne peuvent atteindre les eaux accumulées dans ces réservoirs que par des puits assez profonds ; mais ces eaux viennent déboucher sur la ligne d'affleurement des marnes à huîtres dans les vallées dont les sables de Fontainebleau forment les parois, comme les jolies vallées de l'Essonne, de l'Orge, de l'Yvette, etc., au sud de Paris et le long des coteaux de Meudon et Sèvres, jusqu'aux environs de Versailles.

Calcaire de la Beauce. — Près de Paris et de Versailles, il y a, au-dessus du sable de Fontainebleau, des argiles à meulrières analogues à celles de la Brie ; leur imperméabilité a permis de faire, près de Trappes, les étangs de Saint-Hubert et de Saint-Quentin. Mais la véritable Beauce, qui commence au sud d'Épernon, Rambouillet, Dourdan et Étampes, a pour caractère distinctif la sécheresse.

« Débarrassée de tout dépôt superposé, sauf une mince couche de limon, dit M. de Lapparent (1), la Beauce est trop sèche, trop voisine de la Loire et trop progressivement inclinée vers ce fleuve pour que des cours d'eau aient pu s'y établir et y creuser des vallées. Aussi n'offre-t-elle à l'œil qu'une surface unie, s'étendant de tous côtés, sans changement perceptible de niveau. Les champs, uniformément couverts de céréales et de fourrages artificiels, ne sont divisés ni par des haies,

(1) DE LAPPARENT, Description géologique du bassin parisien.



ni par des fossés. On remarque la rareté des arbres ainsi que l'absence presque complète d'habitations isolées. Cette concentration des maisons est la conséquence de la perméabilité du sol qui empêche l'établissement des mares et oblige à chercher, par des puits profonds et bien outillés, l'eau nécessaire aux hommes et aux animaux. »

On a proposé à plusieurs reprises de faire un canal de dérivation de la Loire ou des étangs du Gâtinais pour en distribuer l'eau dans les communes rurales de la Beauce.

La Sologne. — En Sologne, des lits de sables quartzeux et feldspathiques alternent avec des couches argileuses, parfaitement stratifiés les uns au-dessus des autres. Les couches sont continues sur de grandes surfaces ; certaines couches argileuses, par exemple, notables comme niveau d'eau, sont visibles d'une colline à l'autre, à une altitude correspondante, et dans les puits des communes voisines les nappes s'établissent à une cote généralement uniforme.

Depuis un certain nombre d'années, la création des prairies irriguées a fait de grands progrès dans les vallons de la Sologne ; et, parmi les agriculteurs qui se sont distingués sous ce rapport, je dois citer M. André Courtin, ancien élève de l'Institut agronomique. Les travaux qu'il a faits dans son domaine du Chesne, près de Salbris, peuvent être présentés comme des modèles.

La Brenne. — La surface des plateaux présente de nombreux vallons ou de simples dépressions qui ont toutes une certaine pente vers les rivières. Des chaussées construites en travers de cette pente ont permis d'accumuler les eaux de pluie sur les argiles qui forment le sous-sol et de créer un grand nombre d'étangs qui ont rendu le pays insalubre et fiévreux. Mais il est facile de les dessécher, de les remplacer par des prairies et de faire des fossés ou canaux pour assainir la contrée ; c'est ce qu'on a commencé à faire sur beaucoup de points.

La plaine du Forez et le bassin de Roanne. — Au point de vue hydrographique, les terrains tertiaires de la plaine du Forez et du bassin de Roanne, dans la vallée de la Loire, offrent des caractères spéciaux. La prédominance de



l'élément argileux s'oppose à l'infiltration des eaux pluviales, et la faible pente du sol empêche leur écoulement naturel. Aux moindres pluies, des flaques d'eau se forment sur tous les points, et ces eaux disparaissent à la longue, dans les parties basses, moins par absorption que par évaporation lente. Une conséquence naturelle de cet état de choses est l'absence de véritables sources. A leur place, on observe, au pied de beaucoup de coteaux, de simples suintements d'un régime fort inconstant. Les eaux de pluie, reçues par les dépôts graveleux du haut des plateaux, s'infiltrant jusqu'à la rencontre d'une assise argileuse qui les ramène au jour au moindre pli du sol. De là des écoulements abondants, et souvent troubles, à la suite de plusieurs jours de pluie, mais qui tarissent dès que le temps se remet au beau. Par le même motif, les puits de ces plaines donnent presque partout de l'eau à une faible profondeur ; mais son abondance varie avec la saison, et en général on la voit aussi blanchir au moment des pluies.

On a profité de l'imperméabilité du fond pour établir, dans la plaine du Forez, un certain nombre d'étangs que l'on fait alterner entre l'*évolage*, pendant lequel on y élève des poissons, et l'*assec*, pendant lequel on les cultive. Mais ces étangs contribuaient à rendre leurs environs fiévreux ; on en a déjà supprimé une grande partie pour les remplacer par des prairies.

Dans toutes ces terres à sous-sol argileux, le drainage a une influence bienfaisante, non seulement au point de vue agricole, mais au point de vue de la salubrité.

Le pays d'entre Loire et Allier. — Le pays d'entre Loire et Allier est un vaste plateau découpé par de larges vallées peu profondes et à pente douce, dans lesquelles il a suffi d'interposer de loin en loin des barrages pour y retenir les eaux et former des étangs. On l'appelle quelquefois *Sologne bourbonnaise*, et elle mérite ce nom ou du moins elle le méritait autrefois sous certains rapports. Suivant l'exemple donné dès 1840 par Victor de Tracy, beaucoup de cultivateurs, et entre autres M. Charbonnier, à Saligny, supprimèrent la plupart des étangs inférieurs et les transformèrent en prairies irriguées avec les eaux des étangs supérieurs.



Département du Nord. — Dans le département du Nord, les argiles tertiaires d'Orchies formaient des terres froides et imperméables, classées autrefois de troisième ou quatrième classe. Elles étaient tellement humides qu'on pouvait rarement y travailler avant le mois de mai. Pour faciliter l'écoulement des eaux, on y avait tracé des fossés qui divisaient les terres à l'infini et, pour que les bords de ces fossés ne s'écoulaient pas, on y avait planté des saules, etc. Le blé rendait tout au plus 20 hectolitres à l'hectare. Le drainage a changé tout cela.

A Cappelle, M. Florimond Desprez a comblé les fossés et, après les avoir remplacés par des drains, il a arraché les arbres qui limitaient les champs, et il a formé ainsi de grandes pièces faciles à cultiver. Les travaux peuvent maintenant être commencés dès le premier printemps et, grâce aux défoncements et aux engrais chimiques qui ont complété ces améliorations, il obtient des récoltes moyennes de 30 à 40 quintaux de blé, 60 à 80 d'avoine, 45 000 à 60 000 kilogrammes de betteraves, et 30 000 à 35 000 kilogrammes de pommes de terre.

6. — Terrains tertiaires et quaternaires du sud-ouest de la France.

Mollasses et boubènes. — Dans les mollasses, entrecoupées de marnes plus ou moins sableuses, qui constituent la masse principale des plateaux aux environs de Toulouse, il n'y a pas de nappe d'eau continue. On n'y trouve que des sources faibles et irrégulièrement disséminées.

La plupart des fermes s'alimentent au moyen de puits, et ces puits doivent être poussés jusqu'à une certaine profondeur pour fournir une quantité d'eau un peu notable par la réunion des suintements qui se produisent sur leurs parois.

Cependant les dépôts d'alluvions pliocènes, dont on rencontre les restes sur les sommets de quelques collines de mollasses, sont composés d'argiles et de graviers qui peuvent amener la formation de sources à leur point de contact avec les marnes tertiaires, surtout s'ils sont boisés, comme cela devrait toujours être.

A Toulouse, il tombe en moyenne 644 millimètres d'eau



par an. Mais il y a fort rarement de la pluie en juillet et août. La végétation des fourrages s'arrête alors, et les ruisseaux formés dans les petits vallons par la réunion des sources sont à sec. Les prairies qui occupent ces vallons donnent rarement du regain.

Des terrains quaternaires, que les agriculteurs de la région appellent *boulbènes*, forment des terrasses étagées en général sur la rive gauche des vallées qui descendent des Pyrénées. Ces *boulbènes* sont composées de sables et de limons rougeâtres mêlés à une proportion variable, mais toujours assez grande, de cailloux. On y rencontre souvent, à une certaine profondeur, un conglomérat solide, le *grepp*, formé de cailloux agglutinés par une matière ferrugineuse. Les eaux de pluie s'infiltrant facilement dans le sol perméable des *boulbènes*, mais elles sont arrêtées, soit par le *grepp*, soit par les marnes tertiaires sur lesquelles ces graviers reposent, et y forment une nappe souterraine qui alimente les puits et les sources. C'est dans ces conditions que se trouvent ces sources abondantes que l'on voit jaillir au bord du plateau de Lardenne et de Saint-Simon, sources qu'on avait eu l'idée de capter pour les conduire à Toulouse, où elles auraient alimenté un certain nombre de fontaines. Les puits de cette région trouvent presque toujours une eau abondante à une profondeur de 3 à 5 mètres. Les mêmes considérations s'appliquent à la vallée proprement dite. Ces eaux sont claires et saines en général ; leur volume est assez variable, suivant les saisons ; mais elles ne manquent jamais (Leymerie).

Peu de régions, dit M. Jacquot (1), présentent autant de facilités pour l'irrigation que la grande plaine située aux pieds des Pyrénées. Les eaux qui descendent de la montagne ou de ses contreforts parcourent cette plaine dans toute son étendue. Le Gers possède notamment un magnifique réseau de cours d'eau qui le sillonnent, sous forme d'éventail, dans la direction du sud au nord. Quelques dispositions très simples permettraient de faire servir ces eaux à l'arrosage du fond des vallées et des parties inférieures des coteaux.

(1) JACQUOT, Description géologique du département du Gers, 1871.

Ces richesses naturelles de la plaine sous-pyrénéenne sont soigneusement aménagées dans le Roussillon par des travaux qui remontent, pour la plupart, à une époque reculée. L'irrigation s'est imposée dans cette région comme le correctif du climat. Dans le reste de la plaine, au contraire, l'irrigation est négligée.

Le Gers ne possède pas au delà de 13 à 14 kilomètres de canaux d'irrigation. C'est peu au regard des ressources qu'offrent, pour l'extension de cette pratique, les rivières qui sillonnent le département et des avantages qu'on pourrait en tirer. Aussi, bien des progrès sont-ils encore à réaliser dans cette voie.

En attendant qu'ils soient accomplis, l'eau manque souvent aux nombreuses rivières qui traversent le département du Gers. Au lieu de prendre leurs sources dans les montagnes des Pyrénées, comme l'Adour et la Garonne, et d'être alimentées pendant l'été par la fonte des glaciers, les rivières proviennent la plupart des ruisselets qui sillonnent le plateau de Lannemezan, plateau couvert de landes (*Lannemezan* veut dire *lande du milieu*), complètement déboisé et d'une altitude trop faible (600 à 650 mètres) pour que les pluies et les neiges puissent y être abondantes.

Tandis que, dans le Haut-Armagnac, partie orientale du département du Gers, les collines tout entières se composent de marnes et de mollasses, plus ou moins recouvertes par des boulders, ces marnes et mollasses ne paraissent plus, dans le Bas-Armagnac, qu'au fond des vallées et sur leurs flancs jusqu'à une certaine hauteur, puis viennent à mi-hauteur des sables quartzeux colorés en brun clair par de l'oxyde de fer (*sables fauves*) et à la surface des plateaux des *glaises bigarrées*.

Ces glaises bigarrées sont imperméables et difficiles à travailler. On peut y faire de bonnes vignes, après les avoir drainées, défoncées et amendées avec les marnes lacustres que l'on extrait au-dessous d'elles. Mais, en agriculture, les améliorations qui réussissent au point de vue technique ne font pas toujours à conseiller au point de vue économique. Ce qu'il y a de plus pratique avec ces glaises bigarrées, c'est



ce que font depuis longtemps les gens du pays : c'est de ne pas les améliorer du tout et de s'en servir comme de moyen d'amélioration pour les autres terres. On les laisse incultes ; ce sont des *touyas*, landes boisées qui fournissent du bois, de la litière et du pâturage pour les métairies et qui ont en même temps une heureuse influence sur le régime des eaux dans la contrée.

Département des Landes. — Dans la partie orientale du département des Landes, les terrains ressemblent encore à ceux du Bas-Armagnac ; dans sa partie méridionale, ils ressemblent à ceux du Béarn. C'est la *Chalosse*, pays de collines composées d'un diluvium argileux mêlé de cailloux et reposant sur un sous-sol de glaises bigarrées de rouge. Pour assainir les champs, on les entoure de fossés à ciel ouvert, appelés *rigoles*. A côté de ces rigoles, on laisse une *matte*, bordure de 1 mètre à 1^m,50 de large, sur laquelle sont plantées des vignes en hautains soutenus par des cerisiers sauvages ou par des piquets.

L'eau se trouve partout ; les puits ne dépassent guère une profondeur de 7 mètres, et souvent ils n'en ont que 4 ou 5 ; et cette abondance d'eau permet d'avoir des fermes dispersées dans la campagne au centre des terres qu'elles cultivent.

Dans le reste du département des Landes et dans une partie de celui de la Gironde, l'imperméabilité des sables provient de l'*alios*, couche de grès brun qu'un ciment de matières organiques et de fer a formé à une profondeur d'environ 1 mètre.

Quand on pratique en été un trou un peu large dans le sol, en s'arrêtant à l'*alios*, on voit le fond de ce trou se remplir peu à peu, par infiltration latérale, d'un peu d'eau jaune à peine notable. Mais, si l'on perce l'*alios*, on trouve immédiatement au-dessous une eau assez abondante et parfaitement limpide. On est parvenu à conserver à cette eau inférieure sa limpidité première en recouvrant de ciment les parois des puits jusqu'à l'*alios*, de manière à supprimer les infiltrations de la couche de sable supérieure.

Ce fut Chambrelent, alors ingénieur des ponts et chaussées à Bordeaux, qui montra pratiquement, dans le domaine de



Saint-Alban qu'il acheta en 1849 à Pierroton, que les pins maritimes réussiraient bien, si l'on parvenait à abaisser le niveau des eaux. Grâce à la situation de Pierroton, il put facilement écouler ces eaux au moyen de fossés à ciel ouvert ou *crastes*, et, dès 1855, il montra à l'Exposition universelle de Paris des pins de 3 mètres de hauteur qu'il avait obtenus à Saint-Alban.

Mais comment appliquer cette méthode aux grandes Landes? Comment écouler les eaux stagnantes sur cette immense surface? La construction des chemins de fer devint le grand auxiliaire du dessèchement et du boisement des Landes. Les terrassements de la voie de Bordeaux à la Teste furent construits au moyen de deux fossés latéraux, creusés avec des pentes et des sections régulières bien calculées, qui devinrent les premiers évacuateurs des eaux de la contrée vers les étangs du littoral de l'Océan.

Puis vint l'ouverture de la grande ligne de Bordeaux à Bayonne. La Compagnie du Midi fit construire des routes agricoles transversales à la voie ferrée, et elle établit, le long de ces routes, comme le long du chemin de fer, des fossés qui avaient assez de pente pour servir à l'écoulement des eaux.

Dunes de Gascogne. — En Gascogne, les eaux pluviales qui tombent à la surface des dunes pénètrent immédiatement dans le sol sans ruisseler à la surface.

Elles s'infiltrèrent dans le sable et vont former une nappe, dont la surface supérieure est ondulée comme celle des dunes, mais avec des ondulations beaucoup moins prononcées et dont les formes varient d'ailleurs à la suite des pluies et des sécheresses. Considérée en grand, cette surface n'est pas horizontale; car, au niveau des hautes mers, dans le voisinage immédiat de l'Océan, elle s'élève dans l'intérieur de la chaîne des dunes à 15 ou 20 mètres d'altitude.

Cette nappe est alimentée soit exclusivement par les eaux pluviales, soit en partie par les eaux des étangs.

Ses eaux sont douces par suite de la poussée constante, tant des eaux pluviales supérieures que des eaux des étangs et des marécages échelonnés jusqu'à la côte.

Les puits situés à la pointe de Grave, et vers la limite de



la chaîne à la hauteur de Forge, ne fournissent que de l'eau douce, même lorsque, par suite de leur profondeur, ils descendent jusqu'au niveau moyen de la mer, et que, par suite de leur faible éloignement, leur niveau éprouve des fluctuations en rapport avec celles des fortes marées. A Arcachon, les puits ne donnent que des eaux douces, même ceux qui sont assez rapprochés de la mer.

7. — Terrains tertiaires et quaternaires de la Suisse et de l'Est.

Le flysch. — Les terrains tertiaires les plus anciens qu'il y a dans les Alpes de la Suisse, de la Savoie et du Dauphiné, sont des *calcaires nummulitiques* qui sont, en général, secs et arides, et le *flysch*, qui est composé d'une alternance de schistes imperméables et de grès perméables.

Par suite de cette alternance, les sources sont nombreuses dans le flysch. Malheureusement il en résulte aussi quelquefois des glissements et des éboulements dont les effets sont désastreux.

On peut enrayer ces glissements en empêchant, au moyen de drains en pierre, les eaux d'arriver en quantité suffisante jusqu'au lit imperméable qui constitue le plan de glissement ou même en les recueillant sur un plan de glissement, de façon à ne pas leur permettre de saturer la masse des matériaux instables.

Dans le département des Hautes-Alpes, le flysch est très développé ; il se trouve souvent au-dessus du lias ; il forme comme lui des terres fertiles ; mais, quand ces terres ne sont pas protégées par les forêts, elles se dégradent et sont entraînées par les torrents.

Mollasse. — Les grès et poudingues de la mollasse sont assez perméables ; mais leurs bancs alternent de loin en loin avec des couches de marnes plus ou moins épaisses qui rassemblent les eaux et forment des sources sur les points où elles affleurent.

Les eaux de ces sources tiennent en dissolution la plupart des matières qui font partie du ciment des mollasses, des carbonates de chaux, magnésie et fer, etc.



Elles sont, en général, très saines et excellentes pour l'irrigation. En Suisse, pour ainsi dire, chaque ferme a sa fontaine qui coule toujours et qui sert non seulement à abreuver ses habitants et son bétail, mais à laver les planchers des étables et à préparer le fameux *lizier*, engrais liquide qui contribue beaucoup à augmenter la fertilité naturelle des terres.

Les bois conservés dans la plupart des communes sur les hauteurs qui les environnent régularisent le débit des sources qui coulent au-dessous d'eux. Malgré le nombre assez grand de ces sources, les terres sont rarement assez humides pour exiger des drainages ; ces drainages ne sont utiles que dans les bas-fonds, où le sous-sol se compose de marne.

8. — Terrains quaternaires de la Suisse et de la Savoie.

Au-dessus de la mollasse, on trouve les *alluvions anciennes*, couches de graviers stratifiés qui reposent sur une marne imperméable ; c'est un niveau d'eau souvent utile.

Puis viennent les *dépôts glaciaires*, souvent très épais, qui reposent tantôt sur ces alluvions anciennes, tantôt directement sur la mollasse ou sur les calcaires jurassiques. Leur composition minéralogique varie avec celle des roches qui entourent le bassin où les glaces ont enlevé, strié et broyé leurs matériaux.

Partout c'est une accumulation de débris de toutes sortes : blocs de pierres, cailloux, sables plus ou moins grossiers enfouis dans une argile compacte que l'on appelle *diot* en Savoie.

La mise en culture du diot est principalement une question de mécanique. A l'état de nature, il est tout à fait improductif. On peut en juger par ces *teppes de diot* que l'on trouve encore aujourd'hui dans quelques localités de la Savoie, mamelons déserts sur lesquels poussent quelques genévriers et quelques lambeaux de pauvre gazon.

Ces teppes tendent à disparaître de plus en plus en Savoie, et l'on n'en voit plus guère en Suisse. Peu à peu le diot se transforme en terres productives, mais il faut pour cela beaucoup de travail. Il faut, par des minages à bras ou par des défoncements



à la charrue, ouvrir les entrailles de ce sol compact aux racines des plantes que l'on veut y cultiver. Pour faire durer les effets bienfaisants de ces défoncements et faire circuler à la fois l'eau et l'air dans le sous-sol, il faut drainer. Enfin, pour y établir une culture intensive, il faut de fortes doses de fumier.

Tantôt l'argile se continue à de grandes profondeurs pêle-mêle avec des blocs anguleux et marqués des stries caractéristiques des terrains glaciaires. Tantôt on découvre des veines de sables ou de graviers.

Souvent ces graviers ont été cimentés par des eaux tuffeuses et forment une couche de poudingue encore plus impénétrable aux racines que le diot.

Quelquefois on peut, en perçant un puits perdu à travers ce poudingue, arriver à des bancs de gravier libre et drainer ainsi d'un seul coup plusieurs hectares ou y jeter les drains, si l'on n'a pas ailleurs un écoulement favorable. La recherche des sources est très capricieuse dans les terrains glaciaires. En creusant des tranchées dans les endroits où quelques indices font supposer leur existence, on rencontre quelquefois un filet d'eau abondant ; mais laissez-le couler quelques jours ; peu à peu il diminuera et bientôt disparaîtra tout à fait. Ce n'était qu'une poche, nid de gravier ou de sable plein d'eau, mais isolé au milieu des masses d'argiles et sans communication avec d'autres couches d'eau qui puissent l'alimenter.

En général, les plateaux argileux absorbent peu l'eau des pluies qui tombent sur eux et ne peuvent par conséquent pas en emmagasiner beaucoup. Il ne doit donc pas se former des sources bien abondantes dans les masses d'argiles glaciaires. Les plus considérables débouchent sur les flancs des vallées que les cours d'eau venus du Jura et des Alpes se sont creusées dans les anciennes morâmes, et sont tout simplement des infiltrations de ces cours d'eau ; c'est l'eau de la rivière plus ou moins bien filtrée dans les couches de graviers qu'elle a traversées.

Quelquefois aussi le dépôt glaciaire, qui revêt par lambeaux les pentes d'une colline de mollasse ou de calcaire jurassique, se borne à servir de barrière aux eaux infiltrées et accumulées dans ces formations perméables, et il suffit de percer cette barrière pour donner jour à une source.



Au Mont-sur-Lausanne, une source assez puissante pour contribuer à l'alimentation de la ville a été créée en perçant, à travers la mollasse et l'argile quaternaire, une galerie aboutissant au milieu des blocs d'une moraine très aquifère.

D'autres exemples sont fournis par les environs de Villars-sur-Ollon (canton de Vaud).

Dans le vallon du Champ-du-Moulin (canton de Neuchâtel), des argiles plastiques tout à fait imperméables, à la base d'un dépôt glaciaire, donnent naissance, sur les bords de l'Areuse, à de nombreuses sources (1).

La Bresse et les Dombes. — La carte géologique montre que la plaine bressane est découpée en un nombre infini de mamelons dont le noyau central est composé de *marnes bleues* recouvertes de sables ferrugineux et de limon jaune ou *lehm*. Au milieu de ces nombreuses collines serpente un réseau de petits vallons ; les eaux, trouvant peu de pente devant elles, forment des étangs ou s'écoulent lentement vers les vallées plus importantes de la Veyle, de la Reyssouse, de la Saône, qui finissent par aboutir à celle de la Saône.

Il pleut toujours beaucoup en Bresse : aux environs de Bourg, on enregistre en moyenne 1^m,20 de pluie par an, deux fois plus qu'à Paris. Les terres sont difficiles à égoutter, à la fois parce qu'elles reçoivent beaucoup d'eau, parce qu'elles ont peu de pente et parce qu'elles reposent sur un sous-sol imperméable. De là un système de labours tout spécial à la Bresse. On fait des *billons* plus ou moins étroits, suivant la récolte à laquelle ils sont destinés. A leurs extrémités, dans les *contours* ou *chaintres*, on se garde de labourer perpendiculairement à ces billons, comme on le fait d'habitude. Cela arrêterait l'écoulement des eaux. Au contraire, on enlève la terre de ces chaintres au moyen de brouettes ou de tombereaux, pour la transporter au milieu du champ et lui donner ainsi un bombement artificiel. De plus, en travers des chaintres et parallèlement aux billons, on fait, sur les points où ils peuvent être utiles, de larges fossés d'écoulement que l'on appelle *baragnons*, et l'on a également soin de remonter, de temps en temps, sur les pièces

(1) DAUBRÉE, Les eaux souterraines, 1887.

labourées la terre fine que les eaux ont entraînée. On forme ainsi une série de rectangles ou carrés bombés, donnant à l'ensemble des champs une pente factice qui facilite leur égouttement et qui permet de leur rendre les matières fertiles que les eaux superficielles tendent à leur enlever en les ravinant.

Sans doute ce système de culture exige beaucoup de travaux ; mais les cultivateurs bressans les font dans les moments où ils n'ont rien de plus pressé à faire. Sans doute, des drainages au moyen de tuyaux placés sous terre permettraient de supprimer tous ces transports de terre, de cultiver toute la surface perdue en chaintres et baragnons et d'augmenter la profondeur des labours, qui ne dépassent guère 0^m,08 à 0^m,10, et qu'il serait dangereux de pousser plus loin, tant que le sous-sol ne peut pas être aéré.

Mais les drainages coûtent cher, et ils sont difficiles à bien faire dans des terrains qui ont peu de pente.

On a essayé, mais on prétend que les tuyaux sont plus sujets à s'obstruer dans les terres de la Bresse que partout ailleurs. Ce reproche me semblerait, en effet, bien fondé, si l'on traçait les plans de drainage d'après les règles qui étaient indiquées autrefois dans la plupart des traités, c'est-à-dire en plaçant les drains suivant la plus grande pente et les collecteurs en travers. Les collecteurs ont ainsi forcément une pente plus faible que celle des drains, et les eaux qui sont arrivées dans ces drains, chargées de ces sables fins qui abondent dans les terres de la Bresse, en déposent une partie au moment où elles entrent dans les collecteurs et sont forcées d'y ralentir la vitesse de leur écoulement. De là des obstructions que l'on peut facilement éviter, en traçant, au contraire, les collecteurs suivant la plus grande pente du terrain et les drains suceurs en diagonale.

Chaque ferme, ou tout au moins chaque hameau, a une mare et un puits. Quand ce puits n'a que 3 ou 4 mètres de profondeur, c'est une sorte de citerne alimentée par les eaux superficielles ou par des *raisins*, petites sources que forment les veines de sable intercalées dans les argiles. Ces puits ont de l'eau très douce, quelquefois chargée de matières organiques, et ils sont sujets à tarir après les grandes sécheresses. Pour avoir toujours de l'eau, il faut creuser les puits à 12 ou 15 mètres de profon-



deur et avoir la chance de rencontrer un de ces bancs de gravier qui se trouvent interposés dans les couches de marnes ; ils sont alors intarissables et donnent des eaux plus dures, plus calcaires que les précédentes.

La Dombes. — Au sud de Bourg, les chaintres et baragnons commencent à disparaître, et on n'en voit plus à Chalamon. Il suffit de labourer en planches suivant la pente pour égoutter le terrain. Puvis a souvent dit que le sol de la Dombes est moins imperméable que celui de la Bresse proprement dite, et il explique ainsi l'usage des chaintres dans cette dernière. Mais je crois que les terres de la Dombes sont tout aussi fortes et imperméables que celles de la Bresse, et si on n'y voit pas de chaintres, mais beaucoup d'étangs, c'est qu'il y a plus de pente pour écouler les caux.

En effet, la Dombes est une vaste moraine composée de matériaux amenés par les glaciers des Alpes. Ce qui domine dans ces matériaux, c'est une argile aussi compacte et aussi imperméable que le *dîot* de la Savoie. On avait profité jadis de cette imperméabilité et des ondulations de sa surface pour établir des étangs dans les dépressions, en les barrant de loin en loin au moyen de digues, et ces étangs avaient fait de la Dombes un pays très malsain.

L'amélioration de la Dombes a tenté beaucoup d'hommes généreux, et à leur tête il faut citer Nivière, le fondateur de l'École d'agriculture de la Saulsaie.

Nivière était magistrat à Lyon, et il avait devant lui une brillante carrière, lorsqu'il s'enthousiasma pour la question de la Dombes et se décida à y consacrer sa vie et sa fortune. Malheureusement cette fortune n'était pas à la hauteur de la tâche qu'il entreprenait en achetant 467 hectares à la Saulsaie, en y supprimant les étangs et cherchant à y créer une culture intensive. Il ne se rendait pas compte des énormes dépenses qu'il aurait à faire pour arriver à son but. Il croyait que le drainage seul suffirait pour transformer le sol.

Le drainage sans défoncement ne pouvait pas suffire plus que le défoncement sans drainage ; de plus, il fallait ensuite augmenter les fumures et les engrais complémentaires en raison de la couche arable ainsi créée. Faire l'une de ces trois amé-



liorations sans faire en même temps les deux autres, c'est peine perdue ; or les trois réunies coûtaient 1 200 à 1 300 francs par hectare. Elles n'auraient pu être payées que par des cultures spéciales, comme la vigne, le houblon, la betterave à sucre, etc. ; mais, dans la Dombes, le climat et la rareté de la main-d'œuvre ne permettaient pas ces cultures. Il vaut mieux, comme l'a fait M. de Monicault à Versailleux, boiser les plus mauvaises terres, principalement les hauteurs caillouteuses, ne conserver que les étangs qui ont le plus de profondeur et créer des herbages dans les meilleurs fonds pour y nourrir des bêtes à cornes.

Il y a peu de sources sur les plateaux des Dombes ; la disposition et la nature imperméable du terrain ne s'y prêtent pas. La plus grande partie des eaux de pluie ruisselle à leur surface, se réunit dans les étangs, s'écoule par quelques petits ruisseaux ou s'évapore peu à peu (Risler, *Géologie agricole*).

Limon des plateaux. — Nous avons sur les plateaux du bassin de la Seine près de 5 000 000 d'hectares de limon qu'Arthur Young considérait comme un des plus beaux terrains du monde. Il se compose de sable très fin et d'argile, et, en général, avec très peu de calcaire. Son épaisseur atteint quelquefois 12, même 15 mètres. Quand elle est de plus de 2 à 3 mètres, on peut y distinguer deux parties : la partie supérieure, de couleur plus jaune, plus argileuse, plus pauvre en calcaire que la partie inférieure, est le limon proprement dit, ce que l'on appelle *terre à briques* dans le pays de Caux et en Picardie ; la partie inférieure, séparée de la précédente par une ligne horizontale ou parallèle aux ondulations de la surface, est grise et plus grossière, plus sableuse, moins pauvre en calcaire que la première ; les cultivateurs de la Flandre lui donnent le nom d'*ergeron*. Lorsque l'épaisseur du limon ne dépasse pas 3 à 4 mètres, sa masse tout entière est souvent décalcifiée par le passage des eaux de pluie et transformée en *terre à briques*.

Quand ce limon repose sur un terrain très perméable, par exemple sur la craie, il est naturellement drainé ; on peut le cultiver par tous les temps, et souvent deux chevaux suffisent pour la charrue ; c'est une terre franche dans laquelle l'eau et l'air peuvent facilement circuler et qui cependant, grâce à la

finesse du sable qui en forme la plus grande partie et à la proportion d'argile qu'elle renferme, conserve presque toujours assez d'humidité pour les besoins de la végétation.

Ce sont d'excellentes terres à betterave, à luzerne et à blé. Dans le pays de Caux et dans une partie de la Picardie, le limon est séparé de la craie par une couche plus ou moins épaisse d'*argile à silex*, argile mêlée de cailloux, de silex, que les gens du pays appellent *bief*. Les eaux de pluie la traversent moins facilement ; dans les saisons humides, elles se rassemblent aux endroits les plus bas et y forment des *mares* que l'on utilise pour abreuver le bétail et pour établir autour d'elles des herbages ou des vergers (*masures*). Les arbres plantés autour de ces masures les protègent contre une évaporation trop rapide. On ne trouve point de mares au milieu des cultures qui couvrent les plateaux. Il est probable que les nombreux puits que l'on a creusés depuis un temps immémorial pour extraire la craie ont contribué à assécher ces riches plaines. Quand ils ne servent plus pour le marnage des champs, ils fonctionnent encore comme *puits perdus*. Ce sont de vastes *drains verticaux* qui font communiquer le limon, à travers l'argile à silex, avec les bancs fissurés de la craie qui forment la masse des plateaux. Les eaux s'infiltrant lentement dans la craie et ne reparaissent qu'au fond des vallées qui sillonnent de loin en loin le pays.

C'est un des caractères principaux du pays de Caux et de la Picardie : pas de sources sur les plateaux, il n'y en a que dans les vallées.

Il est également inutile de drainer le limon, quand il repose sur le calcaire grossier, comme à Grignon, dans une grande partie du Vexin français et du Soissonnais, sur le calcaire lacustre, comme dans le Multien, sur le calcaire de Beauce ou le sable de Fontainebleau, comme on le voit au sud de Paris.

Mais il en est tout autrement quand le limon se trouve au-dessus de couches imperméables, comme dans la Brie (Voy. à la page 121 ce qui a été dit de l'argile meulière) ou dans une partie du département du Nord. Il forme alors des terres froides et humides, et il est utile de les drainer.



CHAPITRE IV

SUBSTANCES FERTILISANTES CONTENUES
DANS L'EAU

L'eau n'existe pas dans la nature à l'état de pureté. Elle contient des matières en *suspension* et d'autres en *dissolution*. Elle se charge des unes et des autres soit en traversant l'atmosphère, soit en circulant à la surface des terres, soit dans les fissures profondes du sol, d'où elle ressort en formant des sources.

La nature et la quantité des matières que contient l'eau dépendent naturellement de son origine, des terrains qu'elle a traversés ou arrosés. L'analyse y décèle des gaz : *oxygène, azote, acide carbonique* ; des matières minérales : *chaux, magnésie, fer, silice, potasse* ; de l'*ammoniaque*, de l'*acide nitrique* et même parfois de l'*acide phosphorique*. Parmi ces matériaux, certains sont d'une grande valeur au point de vue de la fertilité. Et, malgré que l'eau ne les contienne qu'en quantités très petites, lorsqu'elle se renouvelle constamment et en grande masse, comme dans la pratique des irrigations de certains pays, leur apport joue un rôle très important au point de vue de la fertilisation des terres.

Les limons que charrient quelques cours d'eau représentent une richesse d'autant plus grande qu'ils contiennent davantage de principes utiles aux plantes et que leurs éléments sont plus ténus.

I. — Substances contenues en suspension
dans les eaux. — Limons.

Ce sont les eaux torrentielles ainsi que les rivières et les fleuves qu'elles alimentent qui contiennent le plus de matières solides en suspension. Cependant les eaux originaires les plus pures, après qu'elles ont circulé à la surface du sol, en renferment plus ou moins. L'eau de pluie elle-même, après



avoir lavé l'atmosphère, est souillée de poussières et de germes qui, dans les pays brumeux, dans les grandes villes, la rendent moins pure que l'eau des sources.

Dans les cours d'eau qui reçoivent des torrents, la quantité de matières solides entraînées peut être considérable. Ces cours d'eau affouillent eux-mêmes leurs rives avec d'autant plus d'énergie que leur pente est plus forte et que les terres qui forment leur lit sont plus friables. Les cours d'eau tranquilles eux-mêmes dégradent leurs rives. Et les pluies, lorsqu'elles tombent sur des berges escarpées, les ravinent et entraînent souvent dans la rivière les parties les meilleures de la terre végétale.

Les quantités de limon entraînées varient dans de larges limites. Pour le même cours d'eau, c'est au moment des crues, en hiver et au printemps, que la proportion des limons qu'il charrie atteint son maximum.

Voici quelques chiffres, fournis par différentes observations, qui donneront une idée des masses énormes qui peuvent être entraînées. Ils indiquent les quantités moyennes de limons qui sont annuellement charriées par divers fleuves et rivières :

	Mètres cubes charriés annuellement.	Nombre de kilos entraînés par mètre cube pendant les crues.
Le Mississipi.....	600.000.000	»
Le Nil.....	95.000.000	»
Le Gange.....	42.000.000	2,3
Le Pô.....	40.000.000	»
Le Rhône (à Lyon).....	24.000.000	1,25
La Durance.....	12.000.000	3,63
Le Var.....	12.000.000	36,61
La Loire.....	6.000.000	»
La Garonne.....	5.700.000	»
La Seine.....	200.000	2,74
La Marne.....	105.000	0,51

Hervé-Mangon a étudié cette question avec beaucoup de soin. Voici le résultat de ses observations sur la Durance.

Le poids total des limons charriés par cette rivière devant Mérindol, du 1^{er} novembre 1859 au 31 octobre 1861, a été de 17 923 321 tonnes.

En admettant que ces limons déposés sur le sol pèsent en moyenne 1 600 kilogrammes le mètre cube, leur volume aurait été de 11 077 071 mètres cubes.

Si ce limon se déposait intégralement sur le sol, il recouvrirait, en un an, d'une couche de 0^m,01 d'épaisseur l'énorme surface de 110 770 hectares.

Hervé-Mangon ajoute que l'on regarde comme très fertiles, dans le département de Vaucluse, les terres arables qui possèdent 0^m,30 d'épaisseur de ces précieuses alluvions ou 3 000 mètres cubes par hectare. Le volume de limon entraîné en une année par la Durance à Mérindol représente donc la terre arable de $\frac{11\,077\,071^{\text{mc}}}{3\,000} = 3\,692$ hectares de sol de pre-

mière qualité, très supérieur à la moyenne de nos terres de première classe, ou près de 2 centièmes de la surface arable d'un département moyen. En cinquante ans, ajoute Hervé-Mangon, les eaux de la Durance entraînent donc une quantité de sol arable égale à celle d'un département français (1).

Ronna dit qu'en Toscane les premières grandes opérations de colmatage ont été effectuées avec des eaux boueuses qui déposaient jusqu'à 40 millièmes de leur volume. Lorsque la vitesse des eaux diminue, ces limons se déposent peu à peu, les parties les plus lourdes tombant les premières. C'est pour cette raison que les dépôts laissés par les eaux sont composés d'éléments de plus en plus fins à mesure que l'on se rapproche de leur embouchure. C'est ainsi que se forment les immenses alluvions que l'on observe à l'embouchure du Rhône, du Pô, du Nil et qui continuent encore à se former. Au voisinage de la mer, la précipitation des éléments impalpables en suspension dans les fleuves est favorisée par la présence du sel marin qui coagule l'argile.

Certains eaux peuvent déposer jusqu'à 10 et même 20 centimètres d'épaisseur de limon par an. Ces limons exercent deux actions distinctes. Ils surélèvent le sol sur lequel ils se déposent et parfois l'enrichissent.

Nous allons voir, en effet, qu'ils contiennent souvent,

(1) Voir page 157.



réunies dans des proportions convenables, des matières utiles aux plantes. Les limons offrent donc aux agriculteurs riverains des volumes de terres parfois très appréciables. On favorise leurs dépôts en canalisant les fleuves ou les rivières et en les faisant passer sur des pièces de terres inondées, des marais ou des bas-fonds. En se déposant, les particules terreuses exhausseront peu à peu le sol qui finit par émerger, c'est l'opération du *colmatage* (1). Dans d'autres circonstances, les riverains se bornent à protéger contre les eaux, à l'aide de digues, les alluvions que le fleuve a formées. Puis, ils les mettent en culture. Les terres artificielles qu'ils conquièrent ainsi sont souvent très fertiles. Enfin l'agriculteur, parfois aussi, laisse déposer sur le sol qu'il cultive le limon que charrie la rivière voisine. Il *limone* ses terres, suivant l'expression consacrée et il peut ainsi améliorer sensiblement leurs rendements. Nous écrivons à dessein *il peut*, car tous les limons ne sont pas également fertiles. Il y en a de réellement stériles; d'autres, malgré des matériaux utiles, ne peuvent améliorer la terre où ils se déposent parce qu'ils sont moins riches qu'elle.

Enfin, les limons exercent une influence parfois considérable sur la constitution physique des terres, comme nous le verrons, et c'est quelquefois là surtout leur principal effet.

Jusqu'à ces dernières années, on ne possédait pas de données précises sur les quantités de limon charriées par les fleuves et les rivières ni sur leur composition chimique et physique. Les travaux dont nous allons rendre compte ont élucidé la question en ce qui concerne certains cours d'eau de France. Il serait à souhaiter qu'ils servent de modèle à ceux que l'on devrait poursuivre à l'étranger et pour les autres rivières et fleuves de France dans les régions irriguées.

Recherches de MM. Müntz et Lainé (1910-1913). — MM. Müntz et Lainé (1910-1913) ont fait sur les grands cours d'eau français d'irrigation des recherches qui ont donné des résultats très intéressants, quant au transport des limons et à leur richesse en matières fertilisantes. La conséquence qui se dégage nettement des nombreuses observations de ces savants

(1) Voir page 549,



c'est d'abord que de la constitution géologique et minéralogique de leurs bassins d'alimentation dépendent non seulement les quantités, mais les qualités des matières solides que charrient les cours d'eau et leur propre richesse en éléments utiles aux plantes. Les travaux de MM. Müntz et Lainé ont confirmé d'ailleurs que les limons ténus transportés par les eaux peuvent atteindre des masses considérables. Leurs recherches ont porté sur les cours d'eau qui descendent des Alpes et des Pyrénées.

Les Pyrénées sont constituées presque exclusivement par des roches primitives, cristallines ou schisteuses, donnant peu de prise à l'érosion. Aussi, les eaux qui en coulent sont presque claires, pauvres relativement en limon et en éléments solubles. Dans les Alpes, il y a bien des roches anciennes qui entrent dans la constitution des hauts massifs du Mont-Blanc, de Vannaise et d'Oisans. De grands glaciers les recouvrent en partie qui alimentent les bassins de la haute Durance et de l'Arve aux eaux peu limoneuses. Mais à ce noyau de surface réduite s'adossent de vastes contreforts, formés de roches plus récentes, secondaires ou tertiaires, surtout calcaires, souvent très friables. Elles donnent naissance à des masses énormes de limons qui vont charger les eaux de la moyenne Isère, de la moyenne Durance et du Var.

Les glaciers donnent un régime particulier aux rivières qu'ils alimentent. En hiver, les eaux sont basses et claires. Au printemps, la fonte des neiges provoque des ruisseaux ou des torrents aux cours rapides qui corrodent leurs lits et leurs parois. Il en résulte des crues plus ou moins fortes et des apports importants de limon. En été, les hautes eaux sont provoquées par la fonte plus lente des glaciers, leur teneur en limon est plus faible. Comme les glaciers des Pyrénées sont beaucoup moins importants que ceux des Alpes, ils n'influencent guère la richesse en matériaux solides des rivières de la zone pyrénéenne.

D'ailleurs, toute crue rapide, qu'elle soit due à la fonte des neiges ou à la chute des pluies, amène des limons, et d'autant plus que le bassin de réception est formé de matériaux plus friables.

Les mêmes constatations que nous venons de faire quant à la quantité des limons charriés par les rivières issues des Alpes



et de celles qui prennent leur source dans les Pyrénées se retrouvent quand on examine la richesse de ces limons en éléments minéraux et celle des eaux elles-mêmes. Les eaux et les limons qui proviennent des Alpes sont plus riches que leurs congénères des Pyrénées.

Voici quelques chiffres puisés dans les mémoires de MM. Müntz et Lainé. Passons d'abord en revue quelques cours d'eau issus des Alpes et les quantités de limon qu'ils transportent.

1° L'*Isère*, dont les eaux viennent du massif de la Vannoise et des Alpes Grées. Voici les caractéristiques qui nous intéressent, à Montmélian, chiffres moyens :

	Juillet 1911 à juillet 1912.	Juillet 1912 à juillet 1913.
Débit par seconde	160 ^{me} ,8	180 ^{me} ,8
Limon par mètre cube	7 ^{kg} ,630	6 ^{kg} ,937
Limon charrié annuellement.	39 millions de tonnes.	40 millions de tonnes.

A Grenoble, un peu au-dessous du confluent du Drac :

	Mars 1912 à mars 1913.
Débit par seconde	199 ^{me} ,1
Limon par mètre cube	3 ^{kg} ,176
Limon charrié annuellement	20 millions de tonnes.

La quantité maxima de limon charrié à un moment donné a été de 22 kilogrammes par mètre cube, correspondant à 380 000 tonnes par vingt-quatre heures.

On voit combien varie la dose de matières que transporte le même fleuve suivant l'endroit, l'époque et l'année où l'on procède aux dosages. Ces mesures sont d'ailleurs fort délicates et, lorsqu'elles sont répétées, ne peuvent pas donner les mêmes résultats.

2° La *Drôme*, issue, elle aussi, des Alpes, a des crues très importantes où la quantité de limon transporté peut atteindre 25 kilogrammes par mètre cube.

Voici des chiffres moyens pris à Luc-en-Diois :

	Juillet 1911 à juillet 1912.	Juillet 1912 à juillet 1913.
Débit par seconde	5 ^{me} ,58	3 ^{me} ,94
Limon par mètre cube	2 ^{kg} ,801	1 ^{kg} ,194
Limon charrié annuellement.	500.000 tonnes.	448.000 tonnes.

RISLER ET WERY. — *Irrigations et drainages.*

3° La *Durance*, important cours d'eau d'irrigation, est, comme l'Isère, surtout alimentée par des glaciers.

A Embrun, la teneur en limon dépasse rarement 0kg,500 par mètre cube.

En moyenne on a trouvé :

	Juillet 1911 à juillet 1912.
Débit par seconde.....	80mc,3
Limon par mètre cube.....	0kg,347
Limon charrié annuellement....	881.000 tonnes.

A Sisteron, la *Durance*, après avoir reçu l'Ubaye venant des Alpes Cottiennes et le Buech venant des montagnes de Diois et de Devoluy, a des eaux beaucoup plus limoneuses.

	Juillet 1911 à juillet 1912.	Juillet 1912 à juillet 1913.
Débit par seconde.....	154mc,3	129mc,6
Limon par mètre cube.....	1kg,493	1kg,351
Limon charrié annuellement..	7 millions de tonnes.	5.530.000 tonnes.

A Mirabeau, la *Durance* est grossie de ses principaux affluents, entre autres le Verdon qui descend du massif calcaire du mont Palat. Elle est alors presque constamment limoneuse. La proportion des matières en suspension s'élève jusqu'à 10 kilogrammes par mètre cube au moment des crues.

MM. Müntz et Lainé ont trouvé, chiffres moyens :

	Juillet 1911 à juillet 1912.	Juillet 1912 à juillet 1913.
Débit par seconde.....	244mc,6	262mc,4
Limon par mètre cube.....	0kg,983	2kg,296
Limon charrié annuellement.	7.600.000 tonnes.	19.000.000 tonnes.

Ces chiffres montrent encore combien la teneur en limon peut varier d'une année à l'autre. Ceux de 1912-1913 confirment ceux qu'avaient obtenus Hervé-Mangon (18000 000 de tonnes).

4° Le *Var* descend des mêmes montagnes calcaires que le Verdon. Il est, comme ce dernier, très limoneux au moment des crues qui sont très violentes. A Entrevaux, la proportion de limon déposé atteint 50 kilogrammes par mètre cube. On a trouvé en moyenne :

	Juillet 1911 à juillet 1912.	Juillet 1912 à juillet 1913.
Débit par seconde.....	19 ^{me} ,4	13 ^{me} ,6
Limon par mètre cube.....	4 ^{kg} ,438	3 ^{kg} ,591
Limon charrié annuellement.	2.700.000 tonnes.	1.536.000 tonnes.

Les cours d'eau qui descendent des Pyrénées ont fourni des chiffres bien moins élevés. Ainsi :

Le *Tet* est presque constamment limpide. La proportion des matières en suspension n'y atteint que rarement 10 grammes par mètre cube. On a obtenu à Thues :

	Août 1911 à août 1912.
Débit par seconde.....	2 ^{me} ,85
Limon par mètre cube.....	0 ^{kg} ,022
Limon charrié annuellement.....	2.000 tonnes.

L'*Aude*, à Puyvalador, n'entraîne que 10 grammes de limon par mètre cube.

La *Garonne*, à Saint-Béat, peu après son entrée en France, a donné en moyenne :

	Août 1911 à août 1912.
Débit par seconde.....	22 ^{me} ,8
Limon par mètre cube.....	0 ^{kg} ,045
Limon charrié annuellement.....	32.000 tonnes.

Dans la région des plaines, la Garonne reçoit des affluents qui drainent des terrains plus facilement transportables. Au moment des crues, ils donnent des limons en quantités assez notables, jusqu'à 7 kilogrammes par mètre cube. La Garonne s'en trouve enrichie.

	Août 1911 à août 1912.	Août 1912 à août 1913.
Débit par seconde.....	147 ^{me} ,8	188 ^{me} ,3
Limon par mètre cube.....	0 ^{kg} ,074	1 ^{kg} ,203
Limon charrié annuellement.	345.000 tonnes.	7 millions de tonnes.

L'*Adour*, à la station de Maubourguet, a fourni les chiffres moyens suivants :

	Août 1911 à août 1912.
Débit par seconde.....	3 ^{me} ,1
Limon par mètre cube.....	0 ^{kg} ,020
Limon charrié annuellement.....	193 tonnes.

Les chiffres relativement faibles fournis par le Tet, l'Aude, l'Adour et même la Garonne contrôlent l'affirmation que les cours d'eau qui descendent des terrains cristallins renferment sensiblement moins de matières solides en suspension que ceux qui viennent de terrains plus récents et plus facilement affouillables, comme ceux des régions alpines de l'est de la France.

Voici un tableau qui donne un résumé des observations que MM. Müntz et Lainé ont faites sur l'Isère et la Durance, originaires des Alpes, et la Garonne qui prend sa source dans les Pyrénées. On y trouvera aussi les quantités de matières minérales que les eaux contiennent en solution. Elles vérifient la même règle.

	Débit moyen par seconde.	MATIÈRES EN SUSPENSION.		MATIÈRES EN SOLUTION.	
		Moyenne par mètre cube.	Tonnes charriées annuel- lement.	Moyenne par mètre cube.	Tonnes charriées annuel- lement.
<i>I. Cours d'eau des Alpes.</i>					
Isère à Moutiers ... 1911-12	32,4	0,180	184.000	0,504	515
— — — 1912-13	32,8	0,064	66.000		
Isère à Montmélian. 1911-12	160,8	7,630	38.800.000	0,497	2.520
— — — 1912-13	180,8	6,987	39.800.000		
Isère à Grenoble ... 1912-13	199,1	3,173	19.900.000	0,345	2.170
Durance à Embrun. 1911-12	80,3	0,347	881.000	0,348	880
— à Sisteron. 1911-12	154,3	1,493	7.300.000	0,325	1.580
— à Mirabeau. 1911-12	244,6	0,983	7.600.000	0,338	2.610
— — — 1912-13	262,4	2,296	19.000.000		
<i>II. Cours d'eau des Pyrénées.</i>					
Garonne à Saint-Béat. 1911-12	22,8	0,045	32.000	0,137	98.500
— à Toulouse. 1911-12	147,8	0,074	345.000	0,155	720.000
— — — 1912-13	188,3	1,203	7.150.000		

Naturellement les canaux qui s'alimentent à ces cours d'eau limoneux apportent des masses terreuses qui peuvent être considérables. C'est ce qui se passe pour les canaux dérivés de la Durance. Pour celui de Carpentras, d'après M. Proost, l'eau d'irrigation apporte aux terres 0^{re},967 de limon par mètre

cube, résultat de pesées effectuées tous les jours durant quatre ans (1903-1906). Si ces terres reçoivent 31 arrosages de 800 mètres cubes, les eaux déposent près de 24 tonnes de limon par an et par hectare, ce qui correspond à une épaisseur de 1^{mm},7 si la densité apparente du limon est de 1,4. Ainsi, le niveau moyen du territoire arrosé par le canal de Carpentras sera surélevé de 17 centimètres par siècle.

M. J. Barois, inspecteur général des ponts et chaussées, Secrétaire général du Ministère des Travaux publics en Égypte, dans son beau livre sur l'*Irrigation en Égypte*, a calculé que les inondations du Nil déposaient chaque année une couche de limon atteignant 1 millimètre d'épaisseur. Voici, d'après les recherches des D^{rs} Letheby et Mackenzie, les quantités de limon que les eaux de ce fleuve charrient par litre et par mois; ces chiffres résultent de la moyenne de quatre années d'observation (1874-75 et 1876 à 1878).

	Grammes.
Janvier.....	0,274
Février.....	0,221
Mars.....	0,109
Avril.....	0,135
Mai.....	0,122
Juin.....	0,123
Juillet.....	0,148
Août.....	1,566
Septembre.....	1,304
Octobre.....	0,928
Novembre.....	0,617
Décembre.....	0,424
Moyenne.....	0,498

Si on applique ces chiffres aux volumes d'eau débités mensuellement à Assouan dans une année moyenne, on trouve que le Nil transporte chaque mois :

	Millions de tonnes. .
Janvier.....	1,22
Février.....	0,65
Mars.....	0,26
Avril.....	0,21
Mai.....	0,16
Juin.....	0,16
Juillet.....	0,75

	Millions de tonnes.
Août.....	30,11
Septembre.....	30,99
Octobre.....	15,68
Novembre.....	5,45
Décembre.....	2,55
Total.....	88,13

C'est donc pendant les mois d'août et de septembre que les eaux du Nil sont le plus chargées et pendant ceux de février à juillet qu'elles sont le plus pauvres.

L'ingénieur doit toujours tenir compte de l'abondance des matériaux solides entraînés par les eaux lorsqu'il construit des barrages ou des réservoirs, car l'ensablement de ces ouvrages expose à de graves mécomptes. Cette observation est à retenir surtout quand il s'agit des cours d'eau descendant des Alpes.

Composition et propriétés des limons. — Les limons de la plupart des cours d'eau contiennent des éléments utiles à la nutrition des plantes en quantités plus ou moins importantes, suivant leur origine. Une loi semblable à celle qui règle les quantités de limons entraînés par les cours d'eau gouverne leur qualité. La composition des limons varie, en effet, avec la nature minéralogique et géologique des terres qui constituent le bassin d'alimentation et le lit des fleuves et des rivières. Aussi, lorsque les eaux suivent un long parcours, qu'elles traversent des régions de compositions minéralogiques diverses, peuvent-elles apporter, en certains points de leur périmètre, des éléments nutritifs d'autant plus précieux qu'ils manquent aux terres riveraines. Alors, elles jouent un rôle particulièrement intéressant. La composition des limons varie donc avec les cours d'eau, les régions d'où ils émanent, les vallées qu'ils ont arrosées, avec le moment même de l'année où on les examine. Elle est plus riche à l'époque des crues.

Hervé-Mangon s'est beaucoup occupé de cette question. Mais comme, à l'époque où il a fait ses observations, on ne prêtait pas la même attention qu'aujourd'hui à la présence de l'acide phosphorique et de la potasse dans les terres arables,

il a négligé de doser ces deux éléments précieux de la fertilité.

Voici quelques-uns des résultats de ses recherches.

Limon de la Durance. — Quantité moyenne annuelle de limon contenue dans 1 mètre cube d'eau : 1^{er}, 454. Composition moyenne et par an, pour 100 :

	Moyennes	
	mensuelles.	extrêmes.
Résidu argilo-siliceux insoluble....	45,02	46,650
Alumine et peroxyde de fer.....	3,72	4,650
Carbonate de chaux.....	41,27	41,470
Azote.....	0,06	0,098
Carbone.....	0,41	0,686
Eau et produits non dosés.....	9,52	6,446
	100,00	100,000

Limon du Var (mars 1865). — Composition centésimale :

Résidu insoluble.....	44,28
Alumine et peroxyde de fer.....	5,03
Carbonate de chaux.....	38,33
Azote.....	0,12
Carbone.....	»
Eau et produits non dosés.....	15,04

Voici quelques analyses faites récemment par M. Müntz et qui indiquent la teneur des limons de plusieurs cours d'eau dans les quatre principaux éléments de fertilité :

	Azote. P. 1000.	Acide phosphorique. P. 1000.	Potasse. P. 1000.	Carbonate de chaux. P. 1000.
Isère (à Grenoble).....	1,24	1,66	1,32	255
Durance (à Mirabeau)...	0,50-1,06	0,92-1,10	1,34-2,2	356,4-484,4
Verdon (à Gréax).....	0,65	0,82	2,41	432
Garonne (à Toulouse)...	1,99	1,59	3,02	124
Canal de Carpentras (à Carpentras).....	1,15-1,51	1,01-1,12	2,9-4,0	389,7-432,5

M. Müntz ajoute que les limons contiennent en moyenne, pour 1 000, de 0,71 à 1,2 d'azote, de 0,80 à 1,5 d'acide phosphorique, de 1,5 à 2 de potasse. La teneur en potasse peut aller jusqu'à 3 et 4 pour 1 000 s'il s'agit des limons ténus et argileux.

Nous croyons intéressant de donner la composition du

fameux limon du Nil. Les analyses du Dr Letheby indiquent les chiffres suivants pour 100 parties :

	Crue.	Étiage.
Matières organiques.....	15,02	10,37
Acide phosphorique.....	1,78	0,57
Chaux.....	2,06	3,18
Magnésie.....	1,12	0,99
Potasse.....	1,82	1,06
Soude.....	0,91	0,62
Alumine et oxyde de fer.....	20,92	23,55
Silice.....	55,09	58,22
Acide carbonique et pertes.....	1,28	1,44
	100,00	100,00

Les chiffres donnés par l'acide phosphorique et la potasse pour l'échantillon pris à la crue paraissent anormaux, beaucoup trop grands.

Malheureusement ces analyses ne séparent pas l'azote, qui a une si grande importance au point de vue de la fertilité. Mais M. Barois dit dans son ouvrage déjà cité que, d'après les analyses de Payen, Champion et Gastinel Bey effectuées en 1872, le limon du Nil en contiendrait de 0,9 à 1,30 pour 1 000. Ces analyses se rapportent à des échantillons prélevés en plusieurs points de la Haute-Égypte. Elles n'indiquent à côté de l'azote que des traces d'acide phosphorique.

M. Normandin, ingénieur des ponts et chaussées, donne, dans le rapport qu'il a rédigé sur une mission à Java, la composition d'un limon qui a été prélevé dans le canal principal s'alimentant à la rivière Branta :

Acide phosphorique.....	3,5 à 6,5 p. 1000
Potasse.....	4,3 à 6 —
Azote.....	2,5 à 2,7 —

C'est un limon très riche et, par conséquent, très fertilisant. Pour apprécier la richesse et l'action fertilisante des limons, rappelons ici la composition moyenne pour 1 000 parties d'une bonne terre végétale, du fumier de ferme, du limon d'un cours d'eau français et du limon du Nil (1).

(1) D'après un document communiqué par M. Barois, inspecteur général des ponts et chaussées, Secrétaire général du Ministère des Travaux publics en Égypte.



	Terre végétale.	Limon.		
		Cours d'eau français.	Nil, moyenne août à septembre.	Famier de ferme.
Azote.....	1	0,7-1,2	1,4	3-5
Acide phosphorique...	1	0,8-1,5	2,5	2-6
Potasse.....	2	1,5-2	5,3	2-4
Chaux.....	50		30,7	3

Ce tableau comparatif montre qu'en général un limon est moins riche qu'une terre arable de moyenne richesse. Cependant le limon du Nil est relativement plus riche que les autres. D'autre part, nous trouvons dans le livre de M. Barois les renseignements qui suivent sur le sol égyptien.

Dans toute l'étendue de la vallée du Nil, la couche de terre végétale a une épaisseur considérable. C'est une argile limonneuse dont la composition chimique présente une assez grande uniformité dans la haute comme dans la basse Égypte.

D'après de nombreuses analyses faites, en 1872, à Paris, par MM. Payen, Champion et Gastinel Bey, elle contient environ :

Silice.....	450	p. 1000
Argile.....	530	—
Magnésie.....	2 à 1,60	—
Chaux.....	13,0 à 4,90	—
Azote.....	0,3 à 1,00	—
Acide phosphorique.....	0,3 à 3,2	—

Au fur et à mesure qu'on approche de la Méditerranée, le sol contient une quantité de chlorure de sodium de plus en plus grande; au nord du delta, elle atteint jusqu'à 4 p. 100. D'une façon générale, dit M. Barois, la terre d'Égypte contient beaucoup de silice, d'alumine et d'oxyde de fer, peu de chaux, des quantités faibles d'azote et d'acide phosphorique. Si l'on compare sa composition à celle du limon du Nil, on comprend immédiatement pourquoi celui-ci peut exercer une heureuse influence au point de vue de la nutrition des plantes, car il est beaucoup plus riche que la terre en acide phosphorique et en potasse, et sans doute plus riche aussi en azote, quoique nous n'ayons pas trouvé une documentation précise au sujet de ce dernier élément.

Par conséquent, excepté dans des cas exceptionnels, comme celui des dépôts du Nil, qui sont parmi les plus riches, sinon les plus riches qui existent, on ne peut pas dire que les limons soient susceptibles d'enrichir les terres, car ils ne sont pas en général plus riches qu'elles ne le sont elles-mêmes. Cependant ils jouent un rôle extrêmement important vis-à-vis des terres pauvres. *Ce qui donne une très grande valeur fertilisante aux limons, c'est l'état de division extrême dans lequel ils présentent aux plantes les éléments nutritifs. Ceux-ci sont alors très facilement assimilables.*

En somme, on pourrait admettre, dans la généralité des cas, qu'ils restituent au moins au sol une partie des éléments utiles que les récoltes ont pris, que ce serait des engrais pauvres, mais dont l'action pourrait être rapide grâce à leur état physique. Mais c'est précisément cet état physique et l'influence qu'ils ont sur les propriétés physiques des terres qui peuvent contrarier leurs heureux effets et qui, sur des terres riches, peuvent même avoir des conséquences fâcheuses, surtout lorsqu'il s'agit de terres soumises aux irrigations.

MM. Müntz et Lainé sont arrivés à cette conclusion en soumettant les limons aux procédés d'analyse mécanique et physique que nous avons déjà décrits à propos des terres (Voy. p. 53-57). Voici deux tableaux qui donnent les résultats de leurs recherches pour un certain nombre de limons de cours d'eau français.

Propriétés physiques de quelques limons.

	Porosité.	Capacité pour l'eau en volume.	Capacité pour l'air en poids.	Capacité pour l'air.	Perméabilité.
Isère à Montmélian	50,4	25,0	18,4	23,4	3,3
Isère à Grenoble	53,7	41,8	27,8	13,9	0,3
Durance à Sisteron	47,3	33,2	24,4	12,1	0,0004
Durance à Mirabeau :					
Crue du 2 juin 1912	46,6	29,6	21,1	17,0	0,5
Crue du 22 octobre 1912...	50,5	45,7	35,2	4,9	0

Ces propriétés physiques sont, comme nous le savons, en relations immédiates avec la constitution physique indiquée ci-après :

	GRAVIER.	SABLE.			LIMON.			ARGILE.
		Grossier.	Moyen.	Fin.	Sableux.	Fin.	Très fin.	
Isère à Montmélian....	0	0,8	23,2	23,0	31,4	7,1	2,1	2,4
Isère à Grenoble.....	0	0,3	4,2	3,9	16,7	40,6	30,3	4,0
Durance à Sisteron....	0	0	0,1	0	0,7	13,6	64,8	20,8
Durance à Mirabeau :								
Crue du 2 juin 1912...	0	0	3,5	7,0	40,5	30,5	14,0	4,5
Crue du 28 octobre 1912.	0	0,1	0,2	0,1	0,8	0,7	76,9	21,2

Ces chiffres montrent que les limons ne forment que des sols peu perméables, ce qui était à prévoir puisqu'ils sont constitués par des particules terreuses très fines, qu'ils sont d'autant moins perméables que l'analyse physique y décèle davantage de parties fines (dépôts de la Durance, Sisteron), que la valeur de leur capacité pour l'air suit la même tendance et que leur teneur en argile est plutôt faible, contrairement aux idées généralement admises.

La capacité des terres pour l'eau augmente avec la ténuité des limons. Mais elle dépend surtout de leur teneur en argile colloïdale et l'on voit que les limons n'en contiennent pas beaucoup.

Les limons sont d'autant plus ténus que le cours d'eau se rapproche de son embouchure, car ce sont les éléments les plus grossiers qui se déposent d'abord. Ils sont toujours très fins dans les canaux. Et leur capacité pour l'air peut devenir très faible jusqu'à en faire des terres asphyxiantes, compactes, imperméables. Naturellement ils communiquent ces défauts aux terres irriguées sur lesquelles ils se déposent. Or, l'épaisseur des dépôts peut devenir peu à peu considérable lorsque les canaux s'alimentent à des rivières limoneuses. D'après M. Prost, l'eau d'irrigation du canal de Carpentras apporte aux terres 0^{gr},967 de limon par mètre cube. C'est là le résultat

de pesées effectuées tous les jours pendant quatre ans (1903-1906). Si les terres riveraines reçoivent par an 31 arrosages de 800 mètres cubes, que la densité moyenne du dépôt soit de 1,4, les eaux déposeraient, par an et par hectare, 24 tonnes de limon, soit une épaisseur de 1^{mm},7. Ainsi, le niveau moyen des terres arrosées par le canal de Carpentras serait surélevé de 17 centimètres par siècle. Et nous avons déjà dit que M. Barois estimait à 1 millimètre l'épaisseur de la couche de limon déposée chaque année par le Nil.

Les apports de limon peuvent être considérables et modifier profondément, peu à peu, la constitution physique des terres arrosées.

On peut en juger par les chiffres suivants. Les premiers sont dus à M. Prost qui a soumis à l'analyse physique des échantillons de terres prélevés : les uns, sur des terres d'Espagne, arrosées depuis l'époque de la domination des Maures; les autres, sur des terres de même nature, mais non arrosées. MM. Müntz et Lainé ont fourni les seconds. Ils ont soumis aux mêmes recherches des terres arrosées depuis le x^ve siècle, aux environs de Cavaillon, par le canal de Saint-Julien, qui s'amorce dans la Durance, et des sols de même origine, mais qui n'ont jamais été irrigués.

LOCALITÉS.	OBSERVATEURS.	INDICATIONS RELATIVES à L'ARROSAGE DES TERRES.	PROPRIÉTÉS PHYSIQUES.			
			CAPACITÉ pour l'eau		CAPACITÉ POUR L'AIR.	PERMÉABILITÉ.
			en volume.	en poids.		
Benmamet.	MM. Prost.	Arrosées par l'acequia Real de Monador...	35,1	24,4	9,5	0,06
—	—	Non arrosées.....	24,2	15,6	17,3	0,46
Benifayo...	—	Arrosées par l'acequia Real del Inconador.	34,5	24,3	11,5	0,10
—	—	Non arrosées.....	27,5	19,0	16,7	0,42
Cavaillon...	Müntz et Lainé.	Arrosées par le canal de Saint-Julien.....	»	»	»	0,3
—	—	Non arrosées.....	»	»	»	20,4

La perméabilité des terres qui n'ont jamais été arrosées est donc beaucoup plus considérable, jusqu'à 60 fois, que celle des terres qui sont arrosées depuis longtemps.

Mais dans les pays chauds, comme ceux d'Égypte, d'Espagne et du midi de la France, et ce sont ceux-là d'ailleurs qui sont généralement soumis à l'irrigation, sous l'influence des rayons du soleil ces terres argileuses se fendillent et laissent ainsi l'eau pénétrer dans leur masse et s'égoutter.

L'application prolongée des arrosages avec des eaux limoneuses augmente la proportion des éléments fins. Il en résulte donc que les terres deviennent plus compactes, moins aérées et surtout moins perméables. Or, ces terres-là exigent beaucoup moins d'eau. On peut donc faire des économies d'eau lorsqu'il s'agit d'irriguer des terrains soumis depuis longtemps à l'arrosage avec des eaux troubles. L'expérience l'a confirmé.

D'autre part, il faut considérer que la modification de la constitution physique des terres n'est pas toujours suivie d'un accroissement de leur fertilité. Sur les terres fertiles, dont la constitution physique est bonne, le limonage a plutôt une influence défavorable.

Mais, par contre, il peut donner des résultats très satisfaisants quand il s'agit de transformer en terres fertiles des terres caillouteuses et stériles. C'est ainsi que le colmatage a transformé les terrains déshérités de la craie dans les Bouches-du-Rhône. Alors, ces opérations justifient les vers de Virgile :

. *summis liquuntur rupibus amnes,*
Felicemque trahunt limum.

Il ne faudrait pas cependant se hâter de faire état des quantités relativement considérables de matières solides que charrient les fleuves au moment des crues, et de la richesse de ces limons en principes fertilisants, pour en déduire, comme l'ont fait certains agronomes, que les cours d'eau jettent à la mer chaque jour l'équivalent de plusieurs têtes de bétail. La quantité de matières solides que les eaux retiennent suspendues et leur richesse varient dans des limites trop étendues et à des intervalles trop rapprochés pour que l'on puisse en tirer dès



conclusions certaines. Hervé-Mangon a cependant dit que les 17 723 321 tonnes de matières solides entraînées par la Durance à Mérindol sont formées de 9 529 368 tonnes d'argile, de 7 033 714 tonnes de carbonate de chaux, de 14 166 tonnes d'azote, de 98,21 tonnes de carbone et enfin de 1 047 871 tonnes d'eau combinées ou matières diverses, « le tout réuni dans les conditions les plus favorables à la constitution des terres arables les plus fertiles ». Mais ces chiffres paraissent plutôt propres à donner une idée de la puissance fertilisante des limons qu'à la mesurer.

2. — Substances fertilisantes contenues en dissolution dans les eaux.

Si l'eau contient quelquefois des matières solides en suspension, elle en contient toujours en dissolution. Comme nous l'avons déjà dit, la quantité et la nature de ces substances dépendent de l'origine des eaux et des couches de terrain qu'elles ont traversées ou arrosées. Le naturaliste Pline l'a écrit il y a bien longtemps : *tales sunt aquæ, quales terræ per quas fluunt*. Les eaux sont d'autant plus efficaces qu'elles contiennent des éléments qui n'existent qu'en faible quantité dans le sol qu'elles doivent arroser. C'est ainsi qu'elles peuvent apporter soit de la chaux, soit de la potasse, soit de l'acide phosphorique là où ces substances font défaut. L'irrigation tire de ce fait un parti avantageux. Nous allons passer rapidement en revue la composition des eaux diverses que nous offre la nature.

A. *Eaux de pluie et de neige*. — Boussingault, Bineau, Lawes et Gilbert, M. Müntz ont montré que les eaux météoriques contenaient de l'azote à l'état combiné, carbonate et nitrate d'ammoniaque, des matières organiques empruntées à l'atmosphère, des matières minérales, chlorure de sodium, sulfate de soude, oxyde de fer, de l'oxygène, de l'azote et de l'acide carbonique. La composition de ces eaux varie avec celle de l'atmosphère qu'elles ont traversée. Elles sont plus chargées d'acide carbonique, de matières organiques et minérales dans les grandes villes qu'en rase campagne. Les orages



amènent la formation de l'acide nitrique. M. Müntz a montré qu'à une grande altitude, au-dessus de la zone des nuages, au Pic du Midi, l'eau de pluie ne contient plus de traces appréciables d'acide nitrique. Les vents violents exercent leur influence sur la composition des pluies en y amenant des poussières recueillies au loin.

Cent litres d'eau de pluie portés à l'ébullition ont donné :

Azote.....	11,308	
Oxygène.....	01,637	
Acide carbonique.....	01,128	
	21,073	

Boussingault a trouvé, comme résultat d'analyses poursuivies pendant six mois, en 1852, que les eaux météoriques obtenues à une grande distance des lieux habités titraient en moyenne 0^{mg},79 d'ammoniaque par litre. Way, Lawes et Gilbert ont constaté que, de 1853 à 1856, les pluies, grêle, neige, brouillards et rosée ont apporté à Rothamsted, lieu de l'expérimentation, une moyenne de 8^{kg},08 d'azote combiné (ammoniaque et acide nitrique) par hectare et par an.

B. Eaux des rivières et fleuves. — Il a été fait de très nombreuses analyses d'eaux des fleuves, des rivières et des ruisseaux. Mais la composition de ces eaux varie dans de si larges limites suivant l'époque de l'année où l'on opère, suivant le procédé que l'on emploie pour prélever l'échantillon, qu'il est impossible de comparer les résultats que les différents expérimentateurs ont obtenus. Il ressort néanmoins de toutes ces recherches que les eaux courantes contiennent souvent des quantités très importantes de matières fertilisantes dissoutes, que certaines peuvent apporter au sol une dose d'azote ou de potasse qui est supérieure à celle que prélève une bonne récolte, et qu'enfin la nature de ces apports dépend essentiellement des formations géologiques que traversent les eaux.

a. Gaz dissous dans les eaux des rivières et des fleuves. — On sait que l'air atmosphérique est un mélange de deux gaz principaux : l'oxygène et l'azote dans la proportion approximative de 79 volumes d'azote pour 21 volumes d'oxy-

gène. Il contient, en outre, de 4 à 6 dix-millièmes d'acide carbonique. L'eau courante en contact avec l'air dissout ces différents gaz, et chacun d'eux, d'après la loi connue, se comporte comme s'il était seul; en sorte que l'eau absorbe relativement plus d'oxygène que d'azote. Les quantités de gaz dissoutes varient d'ailleurs largement suivant la température, et, en ce qui concerne l'acide carbonique, suivant la composition même des eaux.

D'après Poggiale et Hervé-Mangon, l'eau de Seine puisée en amont de Paris les 11 mars et 4 août 1853 contenait, ramenés à 0° et à la pression de 0^{mm},760 :

	Poggiale.	Hervé-Mangon.
Oxygène	0 ¹ ,0095	0 ¹ ,0072
Azote.....	0 ¹ ,0024	0 ¹ ,0436
Acide carbonique.....	0 ¹ ,02325	0 ¹ ,0254

Et d'après Hervé-Mangon les eaux du canal de Carpentras contiennent par litre :

Oxygène.....	0 ¹ ,0045
Azote.....	0 ¹ ,0125
Acide carbonique.....	0 ¹ ,002 à 0 ¹ ,007

Le rôle de l'azote introduit dans le sol à la faveur de l'eau peut être discuté ; mais il est clair que celui de l'oxygène est très actif. Ce gaz est indispensable aux combustions multiples qui se poursuivent dans le sol et qui solubilisent peu à peu le stock des matières organiques. Quant à l'acide carbonique, il attaque les roches, les sables, etc. Et c'est grâce à lui que les plantes peuvent assimiler les substances minérales qui sont contenues dans les matériaux qui constituent le sol et dans les engrais mêmes.

b. Azote et matières minérales contenues dans les eaux des fleuves et des rivières. — Hervé-Mangon paraît être le premier qui se soit occupé, à propos de l'irrigation, de la composition chimique des eaux. Mais, à l'époque où il a exécuté ses recherches, on ignorait encore le rôle considérable que l'acide phosphorique et la potasse jouent dans la fertilité. Et il ne s'est préoccupé que du dosage de l'azote et de celui des alcalis (potasse et soude), de la chaux, de la magnésie, du chlore, de l'acide sulfurique, de l'alumine et du per-



oxyde de fer. Nous ne retiendrons ici que celui de l'azote.

Il a trouvé, entre autres résultats, que les eaux qui arrosaient, dans le Midi, la prairie des Taillades (Vaucluse) contenaient en moyenne par litre 1^{mg},583 d'azote ; que celles qui servaient à l'irrigation d'une prairie établie aux environs de Saint-Dié, dans les Vosges, en contenaient 1^{mg},380. Aux Taillades, l'irrigation représentait encore un volume total de 16 383 mètres cubes d'eau versée par hectare et par an. A Saint-Dié, l'irrigation versait sur le sol par hectare et par an 154 866 mètres cubes d'eau environ. Hervé-Mangon a trouvé que le sol de la prairie des Taillades avait fixé par hectare et par an 23^{kg},442 d'azote et celui de la prairie de Saint-Dié 207^{kg},880 d'azote. Ces chiffres représentent respectivement des fumures d'environ 6 000 kilogrammes et 52 000 kilogrammes à l'hectare. Un ancien élève de l'Institut agronomique, M. Le Couppey de la Forest, ingénieur des Améliorations agricoles, a étudié dans ces dernières années la composition des eaux d'arrosage d'une prairie appelée la Joncherie, située aux environs de Remiremont. Il a trouvé que ces eaux contenaient par litre :

Azote.....	1 ^{mg} ,282
Potasse.....	2 ^{mg} ,920
Chaux.....	7 ^{mg} ,560
Acide phosphorique.....	traces.

Voici les résultats des analyses que M. A. Müntz a faites des eaux de la Bourne et de l'Isère :

Matières en dissolution, par mètre cube.

	Eau de la Bourne. gr.	Isère. gr.
Poids total des matières dissoutes.....	100,000	175,000
Contenant :		
Azote nitrique.....	0,038	0,223
— ammoniacal.....	0,100	0,110
— organique.....	0,130	0,140
Acide phosphorique.....	0,078	0,044
Potasse ..	2,180	3,390
Chaux.....	80,000	65,000
Magnésie.....	4,000	10,000
Acide sulfurique.....	4,100	48,000

Sous le climat sec et chaud de la Provence, les irrigations sont très utiles et souvent indispensables en donnant l'eau qui est nécessaire pour satisfaire les besoins de la végétation. Dans quelles limites peuvent-elles également être bienfaisantes grâce aux matières que l'eau tient en dissolution ou en suspension? Les excellentes analyses que M. A. Müntz a faites des eaux du Rhône, de la Sorgues et de la Durance peuvent nous éclairer là-dessus. Nous avons donné page 151 la composition de leurs limons. Voici celle des eaux elles-mêmes.

	Rhône. gr.	Sorgues. gr.	Durance. gr.
Poids total des matières dissoutes...	185,000	160,000	240,000
Contenant :			
Azote nitrique.....	0,828	0,104	0,285
— ammoniacal..	0,130	0,036	0,010
— organique....	0,230	0,130	0,140
Acide phosphorique.	0,332	0,026	0,034
Potasse	2,980	3,740	3,120
Chaux	84,000	90,600	82,000
Magnésie.....	9,300	8,700	19,000
Acide sulfurique....	22,300	traces.	66,500

Les eaux du Rhône contiennent, près de Tarascon, beaucoup plus de matières minérales que dans la partie supérieure du fleuve. Le sulfate de magnésie, qui s'y trouve en quantité notable, provient des apports de la Durance. Le chlorure de sodium y est également assez abondant ; il y est amené par les sources basses de la vallée, qui sont la plupart assez riches en sel, parce qu'elles ont passé par des terrains qui, eux-mêmes, en contiennent des dépôts. Ces mêmes terrains renferment du gypse ; de là, l'abondance du sulfate de chaux. Ces eaux, employées à l'irrigation, peuvent aussi fournir aux plantes toute la potasse dont elles ont besoin. L'acide phosphorique seul y fait défaut.

Quant aux eaux de la Sorgues, les matières minérales qu'elles portent avec elles sont insignifiantes.

La chaux se trouve généralement en proportion très élevée dans beaucoup d'eaux de sources et de rivières, grâce à la solubilité du carbonate de chaux à la faveur d'un excès d'acide carbonique. Dans les diverses analyses que nous avons sous



la main, dit M. Joulie, nous la voyons varier de 2^{gr},40 par mètre cube à 163^{gr},70. En général, les eaux de sources et de rivières se tiennent, pour le dosage de la chaux, entre 20 et 70 grammes par mètre cube.

Dans la Sauldre, qui traverse les terrains de la Sologne, presque complètement dépourvus de chaux, M. Joulie en a trouvé 10^{gr},60 par mètre cube, et dans l'Érieux, qui roule sur des terrains granitiques également pauvres en chaux, il en a trouvé 9^{gr},04 par mètre cube.

Ces richesses en carbonate de chaux, qui représentent des apports de 100 à 1 000 kilogrammes de chaux à l'hectare, ont évidemment une valeur d'autant plus grande que les terrains arrosés sont moins calcaires. Elles expliquent souvent, à elles seules, la grande efficacité des irrigations.

En somme, les eaux d'irrigation ont une influence d'autant plus grande sur la fertilité des terres qu'elles sont, relativement à celles-ci, plus riches en éléments fertilisants.



DEUXIÈME PARTIE

EMPLOI DE L'EAU EN AGRICULTURE IRRIGATIONS

DÉFINITION.

L'énergie solaire élève les eaux des mers jusqu'aux sommets des montagnes, où elles s'emmagasinent sous la forme de glaciers et de neiges. Au printemps, les rayons du soleil viennent rendre à la circulation ces masses d'eau solidifiées. Elles descendent de la montagne vers la plaine ; elles mettent tout à la fois à la disposition des hommes leur force vive et leurs qualités comme agent de fertilisation. La philosophie naturelle des choses indique donc qu'il convient de les utiliser dans l'une et l'autre direction, au fur et à mesure qu'elles descendent. Et les pays de montagnes nous apparaissent comme l'aire géographique naturelle des usines hydrauliques, productrices de force, et des prairies irriguées productrices de fourrage et, par conséquent, de bétail et de lait.

Nous avons montré que, la plupart du temps, les pluies n'apportent aux plantes qu'une partie de l'eau qui est nécessaire à leur végétation. L'irrigation intervient pour fournir le reste. Quel que soit le moyen employé pour se procurer de l'eau d'arrosage, quelle que soit l'origine de cette eau : sources, puits, rivières ou canaux, elle provient toujours de terrains situés à un niveau supérieur à celui du sol irrigué. *En définitive, l'irrigation réunit, sur une surface déterminée, aux eaux tombées sur cette surface, celles qui sont tombées en amont sur une surface plus étendue.*



Irriguer un terrain, dans la généralité des cas, c'est l'arroser avec une quantité d'eau limitée, de façon que cette eau circule à sa surface d'une manière uniforme sans s'arrêter nulle part. En humectant le sol et en mettant à la disposition des plantes les éléments nutritifs qu'il renferme, l'irrigation imite l'action de la pluie. Elle remédie à son irrégularité grâce aux cours d'eau ou aux réserves constituées pendant la saison humide, qu'elle déverse sur les terres au moment des sécheresses. Mais, en outre, elle peut apporter au sol des substances fertilisantes, et elle exerce sur lui un ensemble d'actions bienfaisantes, parmi lesquelles l'aération joue l'un des premiers rôles.

Nous verrons que l'on rattache à l'irrigation les procédés d'arrosage qui consistent à couvrir le sol d'une masse d'eau plus ou moins considérable et à l'y laisser séjourner plus ou moins longtemps. Mais qu'il s'agisse d'arrosage à l'eau vive ou à l'eau dormante, toute irrigation doit être suivie d'un assèchement du terrain. *Pas d'irrigation profitable sans un assainissement complet consécutif.*

Les *rigoles d'irrigation* amènent et distribuent l'eau à la surface du sol ; les *rigoles de colature* la recueillent pour en débarrasser le terrain après l'arrosage.

Lorsque le terrain est suffisamment perméable et qu'il offre une pente convenable, il est inutile d'établir des rigoles de colature. Une fois vides, les rigoles d'irrigation font office de colateurs.

L'arrosage à la main est l'irrigation primitive. C'est la plus coûteuse. Elle est impraticable sur des surfaces de quelque étendue.

Grâce à un système approprié de rigoles qui s'alimentent à la réserve au moyen d'une *prise d'eau*, on économise presque toute la main-d'œuvre. On utilise les pentes naturelles du sol, ou l'on en crée d'artificielles, de manière que l'eau descende par son propre poids jusqu'au terrain à arroser et qu'elle s'y répartisse uniformément.



CHAPITRE I

EFFETS DE L'IRRIGATION.

1. — L'irrigation compense l'insuffisance des pluies pendant la période active de la végétation.

Nous avons montré (1) que les plantes mettaient en circulation des masses d'eau énormes pour constituer leur matière sèche. On a pu dire que, pour le même sol, le poids des récoltes est proportionnel, jusqu'à une certaine limite, à la quantité d'eau qui a été mise à la disposition des plantes. D'autre part, nous avons aussi montré combien il était rare que le régime des pluies fût en harmonie avec les besoins de la végétation. Remédier à ce défaut d'équilibre, c'est le résultat immédiat de l'irrigation.

A côté de ce rôle principal, elle en joue un considérable aussi, aux multiples aspects, comme agent de fertilisation.

2. — Rôle de l'irrigation comme agent de fertilisation.

Elle a été étudiée sous ce rapport par Hervé-Mangon (1859-1860), Vincent, Keelhoff (1870), Adolf Mayer (1870), Badersleben (1871), Koenig (1877-1893).

Nous n'envisagerons pas ici les eaux *résiduaires* ; les limites de ce volume ne nous le permettent pas.

1° L'irrigation aère le sol. — L'irrigation, comme le drainage, aère puissamment le sol, à la condition qu'elle soit bien faite, c'est-à-dire que l'eau *pass*e et ne reste pas *stagnante*. En descendant, l'eau chasse l'air chargé d'acide carbonique. Elle apporte, dissous, de l'oxygène que la terre respire en quelque sorte. Grâce à cette action comburante, les matières organiques insolubles sont brûlées. A la faveur du ferment nitrique, elles deviennent la source d'un stock important d'azote soluble. Hervé-Mangon a trouvé que les eaux de cola-

(1) Voy. p. 15 à 30.



ture étaient moins riches en oxygène et plus riches en acide carbonique que les eaux vierges. Ce phénomène se dessine surtout quand la température est suffisamment élevée. Il est donc plus marqué en été qu'en hiver, dans les pays du Midi que dans ceux du Nord.

Toutefois, il est moins simple que ne l'avait cru Hervé-Mangon. Le Dr Kœnig l'a montré. Directeur de la Station agronomique de Münster, ce savant poursuit, depuis 1875, des recherches très importantes sur les eaux d'irrigation. M. Faure, ingénieur agronome, inspecteur des Améliorations agricoles au ministère de l'Agriculture, en a donné une analyse excellente, à laquelle nous recourons plusieurs fois (1). Il peut arriver que l'on dose dans l'eau de colature plus d'oxygène et moins d'acide carbonique que dans l'eau d'amenée. C'est que l'on se trouve en présence de processus divers, qui s'accomplissent simultanément et peuvent rendre le résultat définitif incertain. La richesse initiale de l'eau et de la terre en oxygène, en matières organiques et en calcaire, l'heure de l'arrosage sont autant de facteurs qui interviennent. L'eau répandue en nappe mince à la surface du sol absorbe avidement les gaz; outre l'oxygène que contient l'air atmosphérique, elle dissout celui que contient l'air confiné dans les cavités superficielles du sol et celui que les parties basses des plantes émettent en respirant. Cette eau devient donc plus riche en oxygène que l'eau d'entrée. Elle le restera si elle ne pénètre qu'à une faible profondeur dans des terres pauvres en substances organiques, c'est-à-dire peu oxydables, et que la température soit peu élevée. D'autre part, elle pourra livrer de l'acide carbonique aux parties vertes des plantes qu'elle baigne et ne pas le retrouver si elle arrose un sol pauvre en matières organiques et en calcaire.

Les phénomènes qui marquent l'oxydation des terres sous l'influence de l'irrigation se manifestent d'une manière toujours plus constante dans les eaux profondes de drainage que

(1) *Annales de l'Institut national agronomique*, 1^{re} série, n° 15: Irrigations: drainages, assainissements et autres améliorations foncières en Allemagne et dans quelques parties de l'Europe centrale, 2^e partie.



dans les eaux de colature superficielles. C'est ainsi que la matière organique est toujours en quantité moindre dans l'eau de drainage que dans l'eau de colature, que l'eau de drainage contient presque toujours moins d'oxygène, plus d'acide carbonique et d'acide sulfurique que l'eau d'entrée.

Voici, d'après M. Faure, quelques chiffres de M. le Dr Kœnig :

EAU D'AMENÉE	EAU DE DRAINAGE.			
	Terrains tourbeux.	Terrains calcaires.	Terrains argilo-siliceux.	Terrains sableux.
Oxygène.. 5,9	2,7	3,9	4,0	3,3

Cet appauvrissement est d'autant plus accentué que l'eau de drainage est recueillie à une plus grande profondeur.

L'eau de drainage ou de colature est aussi plus riche en acides que l'eau d'arrosage. Ainsi M. le Dr Kœnig a trouvé :

	Acide carbonique. Mg.	Acide sulfurique. Mg.
Eau d'arrosage.....	121,0	58,5
Eau de colature.....	272,9	127,7

Et ces excédents proviennent de l'oxydation des matières organiques du sol et non pas de la dissolution des carbonates ou des sulfates ; car, dans ce cas, la quantité de ces sels dissous dans l'eau diminuerait ; or, la composition des eaux de colature reste constante. Il se produit donc bien, par suite du passage de l'eau dans le sol, une oxydation des matières organiques qui, selon l'expression de M. Faure, *épure* la terre.

Quoi qu'il en soit, en général, l'irrigation aère le sol. Elle apporte de l'oxygène qui brûle les matières organiques, dont le stock tend à s'accroître sans cesse dans les prairies. Elle mobilise ainsi au profit des plantes, sous forme d'acide nitrique assimilable, l'azote insoluble du sol. Cette action est d'autant plus énergique que le volume d'eau employé est plus considérable et que la température est plus élevée. On sait d'ailleurs

qu'elle exige la présence dans le sol d'une certaine quantité de calcaire. Elle joue dans l'exploitation des prés un rôle semblable à celui que remplissent dans la culture des terres arables la bêche et la charrue. Et cela explique l'intérêt des irrigations qui sont pratiquées avec des eaux pauvres en substances nutritives, même dans des pays où les pluies sont suffisamment abondantes.

2° L'irrigation solubilise les matières fertilisantes contenues dans le sol. Elle mobilise la fertilité. — Nous venons de dire qu'elle solubilise le stock d'azote organique contenu dans le sol. Grâce à la quantité d'acide carbonique que les eaux d'arrosage contiennent et à celle qu'elles acquièrent généralement en traversant la terre, elles dissolvent les matières minérales et en facilitent l'assimilation. L'acide humique dont elle favorise la formation exerce une action analogue. Ce pouvoir dissolvant peut devenir assez grand pour que le sol en soit appauvri, surtout en calcaire. Une terre arrosée par de grandes masses d'eau stériles peut perdre en partie sa fertilité : *elle est irriguée à mort*. Elle peut la perdre par cela même que cette fertilité est *mobilisée* au profit des premières récoltes. *Les arrosages pratiqués avec des eaux pauvres doivent donc être accompagnés de l'apport des engrais nécessaires pour remplacer les éléments fertilisants qu'ils enlèvent au sol pour les donner aux plantes.*

3° L'irrigation peut apporter des matières fertilisantes. — Nous renvoyons le lecteur aux pages qui ont été consacrées aux apports des eaux courantes. Nous rappellerons seulement ici que leur richesse dépend essentiellement de leur origine et des terrains qu'elles ont traversés. Les matières qu'elles contiennent s'y trouvent en suspension ou en dissolution (Voy. p. 158-163).

Il ne peut y avoir de doute sur l'action plus ou moins fertilisante qu'exercent sur les terres qui les reçoivent les matériaux solides que les eaux charrient. Elle dépend de la composition chimique des limons (Voy. p. 140 à 158). Nous reprendrons un exemple fameux en rappelant que la fertilité que le Nil apporte à l'Égypte n'est pas due tant à ses eaux qu'au limon qu'il charrie. L'eau du fleuve ne contient guère plus d'azote et de



substances fertilisantes dissoutes que la plupart des cours d'eau d'Europe. Elle ne contient même pas plus de limon que la Durance, mais ce limon est remarquablement riche.

L'eau du Nil titre en effet 0^{gr},169 de substances dissoutes par litre. L'eau du Rhône en contient 0^{gr},184 ; celle du Rhin, 0^{gr},171 ; celle de la Loire, 0^{gr},135, et celle de la Seine en amont du confluent de ce fleuve avec la Marne, 0^{gr},210. M. Müntz a trouvé que les échantillons d'eau du Nil qu'il a examinés contenaient de 0^{mg},510 à 1^{mg},067 d'azote par litre. C'est peu. Hervé-Mangon a dosé de 1^{mg},583 à 1^{mg},773 d'azote dans les eaux de la Durance qui ont servi à ses expériences sur les irrigations et de 1^{mg},194 à 1^{mg},380 dans les eaux de la Meurthe.

Mais, d'après le Dr Letheby (Voy. p. 152), ce limon peut contenir jusqu'à 1,78 p. 100 d'acide phosphorique, 1,82 p. 100 de potasse et 15,02 p. 100 de matières organiques.

D'après Payen, Champion et Gastinel-Bey, le limon du Nil contiendrait de 0,091 à 0,13 p. 100 d'azote.

Au moment des crues surtout, les alluvions que le Nil dépose sont remarquablement riches en matières organiques, en acide phosphorique et en potasse, et c'est bien à elles qu'est due la richesse proverbiale de la terre des Pharaons.

Les analyses que nous avons données des limons charriés par différents cours d'eau de la France montrent qu'ils constituent pour les terres qui les reçoivent un véritable engrais.

D'après Hervé-Mangon, la Durance et le Var jetteraient chaque année à la mer respectivement 14 000 et 22 000 à 23 000 tonnes d'azote.

C'est surtout à l'automne que les dépôts limoneux sont le plus utiles. A cette époque, en effet, les ruisseaux et les rivières reçoivent les eaux de pluies qui se sont enrichies en ruisselant sur les terres cultivées, les cours de fermes et les routes. Le dépôt du limon se fait plus ou moins vite selon la richesse de l'eau et la pente du sol. Pour que son action reste bienfaisante, il ne faut pas qu'il se dépose en couche trop épaisse qui intercepterait la pénétration de l'air atmosphérique.

L'eau contient aussi des matières fertilisantes en *dissolution*. Nous avons vu qu'Hervé-Mangon avait dosé dans la Durance jusqu'à 1^{mg},773 d'azote par litre d'eau, 7^{mg},6 de

chaux, 2^{mg},8 d'alcali ; dans la Meurthe, jusqu'à 1^{mg},380 d'azote, 4 milligrammes de chaux et 5 milligrammes d'alcali. Le tableau que nous avons donné d'autre part montre que l'Isère contient en moyenne 0^{gr},473 d'azote, 3^{gr},390 de potasse par mètre cube, 0^{gr},044 d'acide phosphorique, 65 grammes de chaux. Le Rhône contient respectivement 1^{gr},88, 2^{gr},980, 0^{gr},332 et 84 grammes des mêmes éléments. Et l'on pourrait facilement trouver des eaux plus riches. D'après MM. Müntz et Girard, les 57 000 mètres cubes d'eau d'égout versés en moyenne par hectare et par an dans la plaine de Gennevilliers, près de Paris, correspondent à 500 000 kilogrammes de fumier de ferme, soit 2 565 kilogrammes d'azote, 1 026 kilogrammes d'acide phosphorique, 2 109 kilogrammes de potasse.

Les terres arrosées peuvent-elles en profiter?

Hervé-Mangon a étudié comparativement, en 1859, les arrosages du midi de la France, à petit volume d'eau, 1 litre environ par hectare et par seconde, et les arrosages du nord des Vosges, donnés à raison de 68 litres et même 217 litres par hectare et par seconde. Il s'est attaché surtout à l'étude de la fixation de l'azote.

Il a trouvé dans le Midi comme dans le Nord que le sol profitait de l'azote contenu dans les eaux d'irrigation.

Mais, dans les arrosages à petits volumes du Midi, la quantité d'azote fournie par les eaux (23 kilogrammes par hectare et par an à la prairie des Taillades) est inférieure à celle qui est exportée par les récoltes, et le rôle de ces eaux à titre d'engrais est tout à fait secondaire.

Dans les irrigations à grands volumes des pays froids, les eaux jouent le rôle de véritables engrais azotés. Elles fournissent non seulement tout l'azote emporté par la récolte, mais encore la fraction de cet élément qui, répondant à l'accroissement de fertilité du sol, se fixe dans celui-ci.

C'est ainsi que la quantité d'azote fixée par hectare et par an sur la prairie de Saint-Dié, dans les Vosges, a représenté 250 kilogrammes au lieu des 23 kilogrammes gagnés dans le même temps et par la même surface à la prairie des Taillades, dans le Vaucluse. Le débit continu de l'eau d'irrigation par seconde et par hectare était de 68 litres environ.

Hervé-Mangon a trouvé que la température exerçait une action importante sur cette fixation de l'azote. Elle se réalise surtout en été et jamais au-dessous de 7°. Pour l'une des prairies d'expériences, celle de Saint-Dié, l'eau d'arrosage du 23 décembre 1859 au 3 avril 1860 n'a perdu par son passage sur le pré que moins de 3 p. 100 de son azote, tandis que du 8 mai 1859 au 11 août 1860 elle en a perdu plus de 32 p. 100. Pour l'autre prairie d'expériences, celle de Habeaurupt, les pertes d'azote ont été respectivement de 1,5 p. 100 et de 30 p. 100 de l'azote de l'eau d'entrée.

Enfin, les eaux ne cèdent en été qu'environ 30 p. 100 de l'azote qu'elles renferment aussi bien dans le Nord que dans le Midi. Au-dessous d'un certain titre, elles deviennent donc inertes, en tant qu'engrais. C'est ce qui fait dire des eaux qui ont déjà servi à l'arrosage qu'elles sont *dégraissées*. Ce n'est pas cependant là un fait d'ordre général. On paie plus cher dans certains pays les eaux qui ont déjà servi à l'irrigation. C'est lorsqu'elles ont passé sur des terres riches et qu'elles se sont ainsi enrichies. Le pouvoir fertilisant de l'eau ne dépend pas seulement de sa richesse absolue en principes fertilisants, mais de sa richesse *relative*, comparée à celle des terres qu'elle arrose.

Les recherches d'Hervé-Mangon ont montré les différences considérables qui existent entre les quantités d'eau employées dans les irrigations du Nord et celles du Midi et la raison de ces différences. Alors que les débits moyens pour les parcelles considérées, pendant les saisons entières, varient dans le Vaucluse entre 0^l,988 et 4^l,393, ils atteignent 68^l,675 et 217^l,133 pour les deux prés vosgiens, et ces deux derniers chiffres sous-entendent des débits de 101^l,285 et 312^l,835 pendant l'hiver. L'arrosage de la prairie de l'Isle (Vaucluse), par exemple, n'emploie qu'une couche d'eau de 0^m,54 d'épaisseur, tandis que l'eau versée sur la prairie de Habeaurupt (Vosges) couvrirait le sol d'une couche d'eau de 400 mètres d'épaisseur, si elle y était réunie à un moment donné ! Remarquons d'ailleurs ici que, dans ces arrosages intensifs, toute l'eau versée est loin de traverser le sol ; la plus grande partie gagne immédiatement les colateurs. Pour la prairie de Habeaurupt,



étudiée par Hervé-Mangon en 1859-1860, le débit moyen de l'arrosage était par hectare de 511^l,1, le débit des colateurs de 453^l,6. Le volume d'eau infiltrée et évaporée, etc., ne représentait donc plus qu'un débit de 57^l,6 par seconde et par heure pendant la durée de l'arrosage. Quoi qu'il en soit, la durée moyenne des arrosages sur les parcelles a varié de 27 min. 30 sec. à 6^h12 min. pour les prairies de Vaucluse, tandis qu'elle a varié de 147^h15 min. à 406^h5 min. pour les prairies des Vosges. Et quels résultats en ont retiré les unes et les autres au point de vue de la fertilité ?

Les prairies du Midi, aux arrosages faibles, ont fixé de 8^{kg},093 à 23^{kg},442 d'azote par hectare et par an ; les prairies des Vosges, aux arrosages intensifs, en ont fixé de 207^{kg},880 à 261^{kg},116. Sur les premières, les récoltes ont exporté de 7^{kg},209 d'azote à 271^{kg},280 de plus que n'en avaient donné l'eau et le fumier, tandis que, sur les secondes, l'eau et le fumier ont laissé au contraire des excédents d'azote atteignant 135^{kg},684 et 155^{kg},994, chiffres maxima d'ailleurs.

Dans la vallée de la Moselle, les eaux déposent sur les graviers qui forment la base des prairies irriguées un limon bien fixe qui augmente d'année en année. C'est dans ce limon que se trouve l'azote dont Hervé-Mangon a constaté la présence, et la végétation en fixe d'autant plus qu'elle est plus active. Or, la plupart des graminées ne poussent que si la température dépasse 6°.

Ces chiffres montrent quelles sont la raison et l'utilité de ces grandes masses d'eau que l'on emploie dans les pays du Nord.

Ces exemples d'arrosages à grands volumes sont loin d'ailleurs d'être les seuls que l'on puisse citer. Voici quelques chiffres qui ont été relevés par différents observateurs :

		Par seconde et par hectare.
Sud de l'Allemagne,	d'après Häsener.....	40 litres.
Nord,	— Patzig.....	42 —
Normandie,	— Debaue.....	16 —
Belgique,	— Keelhof.....	50 —
Vosges,	— Debaue.....	35 —
—	— M. Périn.....	50 —

10.

		Par seconde pi. hectare.
Vallée de la Moselle,	d'après Foltz.....	65 litres.
— — —	— — —.....	79 —
Nord de l'Allemagne,	— Vincent.....	90 —
Vallée de la Moselle,	— — —.....	96 —
— — —	— — —.....	120 —
Vallée de l'Avre (Eure),	— M. Belgrand...	137 —
— de l'Yonne,	— — —...	152 —

Hervé-Mangon s'est surtout attaché aux apports d'azote. A l'époque (1859-1860) où il exécuta ses expériences, on ne donnait pas encore toute l'importance qu'ils méritent, comme éléments de fertilité, à l'acide phosphorique et à la potasse. Il ne s'est donc pas préoccupé de rechercher les quantités des diverses matières minérales que les eaux pouvaient laisser. Il n'a dosé séparément que la chaux, l'alumine et le peroxyde de fer, la magnésie et les alcalis, dans lesquels il confond la potasse et la soude. Mais il n'a cependant pas négligé d'évaluer la quantité de matières minérales laissées en bloc par les eaux.

C'est ainsi qu'il trouve pour la prairie des Taillades (Vaucluse), arrosée par un écoulement continu de cent jours à raison d'environ 11,89 par heure et par seconde, que l'irrigation a laissé 3 619^{kg},439 de matières solubles à l'hectare. Comme les eaux avaient apporté, d'autre part, 16 502^{kg},851 de matières solides, elles ont donc laissé en tout 20 122^{kg},290 de substances minérales. Or, d'après les analyses, le poids des cendres du foin exporté ne s'élevait qu'à 1 197^{kg},817.

Pour la parcelle de prairie de Saint-Dié soumise à l'arrosage intensif, Hervé-Mangon calcule que les cendres du foin récolté pèsent 438^{kg},677, chiffre peu important à côté de celui des matières minérales laissées par l'eau, qui très probablement, dit-il, fournit largement les matières minérales nécessaires aux plantes.

Hervé-Mangon avait trouvé que c'est surtout durant l'été (1) que se réalise le gain d'azote. Ses expériences, limitées aux apports de cet élément, ne suffiraient donc pas à démontrer complètement le bien-fondé, au point de vue chimique, des

(1) Sans doute parce qu'à cette saison les plantes vivent activement et absorbent au maximum les éléments nutritifs.



grandes masses d'eau que les irrigateurs vosgiens emploient durant l'hiver.

M. Risler (*Géologie agricole*) a dit, il y a longtemps, que les ruisseaux des Vosges devaient apporter de la potasse aux prairies irriguées, mais qu'elles ne pouvaient leur donner d'acide phosphorique. Il a même montré que ces irrigations sont de vrais colmatages qui déposent du limon sur les graviers ; mais ce limon est pauvre en acide phosphorique.

Dans un intéressant travail publié en 1898, M. Le Couppey de la Forest, ingénieur agronome, a cherché quelle contribution apportaient à une prairie des environs de Remiremont les matières minérales que contiennent les eaux de la Moselle. Ces eaux ne donnèrent à l'analyse que de faibles traces d'acide phosphorique, 1^{mg},282 d'azote, 2^{mg},92 de potasse et 7^{mg},560 de chaux par litre. M. Le Couppey a trouvé que les eaux de la Moselle, versées sur la prairie de la Joncherie pendant tout l'hiver à raison de 350 litres à la seconde, laissaient 208 kilogrammes de chaux et 280 kilogrammes de potasse à l'hectare. Les irrigations hivernales, dont les cultivateurs des Vosges proclament la nécessité, équivalent donc à de véritables apports d'engrais. Mais les arrosages intensifs des Vosges, pratiqués avec des eaux pauvres, ont souvent conduit à l'appauvrissement du sol, à l'apparition des mauvaises plantes, telles que juncs et carex qui caractérisent les terrains trop humides.

Vincent est sans doute le premier agronome qui se soit occupé de l'apport des éléments fertilisants dissous par les eaux d'irrigation. Dès 1845, il compara la composition chimique d'une eau vierge et de la même eau après qu'elle avait été utilisée à l'irrigation une, deux, trois, quatre et cinq fois. L'analyse lui montra que la richesse de cette eau en matières minérales diminuait au fur et à mesure de son emploi.

Lorsque de l'eau passe sur le sol, deux pouvoirs distincts, qui se manifestent par des phénomènes également différents, se disputent les matières fertilisantes qu'elle peut contenir. L'un, c'est cette faculté spéciale, propre à la terre arable, de retenir certains éléments ; l'autre, c'est le pouvoir d'absorption des plantes. Le premier est d'autant plus énergique que le sol est plus riche en argile et en humus, qu'il est plus pauvre des



éléments dissous dans l'eau. L'autre agit avec d'autant plus d'intensité que la végétation est plus active. Mais tous deux concourent à retenir les éléments fertilisants.

C'est ce que les recherches de Kœnig ont montré. Et, d'après lui, *ce n'est pas tant au pouvoir absorbant du sol qu'à l'activité de la végétation qu'il faut rapporter l'utilisation des substances fertilisantes qui sont contenues dans les eaux à l'état de dissolution.*

C'est donc au printemps et au commencement de l'été que les effets de l'irrigation se font le mieux sentir. Et ce sont les terrains pauvres, sablonneux, qui en profitent le plus.

Chaque élément nutritif contenu dans l'eau d'arrosage est absorbé en proportions variables ; le pouvoir absorbant du terrain étant le même, c'est la plante qui règle la proportion d'après ses besoins. Toutefois la potasse fait exception ; hiver comme été, elle est retenue en égale quantité. Ici, c'est le pouvoir absorbant du sol qui règle le phénomène.

Quant à la chaux, elle peut être exportée si la combustion de la matière organique contenue dans le sol produit plus d'acide carbonique ou d'acide nitrique que les plantes n'en ont besoin.

C'est à une conclusion analogue à celle de Kœnig qu'arrivait P.-P. Dehérain lorsqu'il disait que les pertes d'azote nitrique par le drainage sont en raison inverse de l'abondance des récoltes.

Et l'examen des résultats que l'on obtient de l'irrigation avec les eaux d'égout montre aussi que le pouvoir absorbant de la terre ne retient plus, au delà d'une certaine limite, les substances fertilisantes.

Vœlcker (1) a analysé la terre de prairies situées près d'Édimbourg, ayant reçu pendant près de quatre-vingts années consécutives 30 à 40 000 mètres cubes d'eau d'égout par hectare et par an. Cette terre contenait par kilogramme :

Azote.....	6gr,4
Acide phosphorique.....	0gr,6
Potasse.....	0gr,8

Ce sol est resté excessivement pauvre malgré les quantités énormes de matières fertilisantes déversées à la surface par les eaux d'égout.

(1) Müntz et Girard, Les engrais, t. I.



Il y a du reste longtemps que la pratique a constaté que les irrigations produisent les meilleurs effets sur les sols légers. Les sols argileux sont cependant plus riches en général, et leur pouvoir absorbant est plus considérable.

Plusieurs observateurs ont constaté que les eaux d'irrigation semblent exercer une action fertilisante d'autant plus active sur les prés, jusqu'à une certaine limite cependant, qu'elles coulent plus vite. C'est, au fond, ce que l'on exprime lorsque l'on dit : *Moins un pré a de pente, plus il faut d'eau pour l'arroser* (Villeroy et Muller). Un pré plat ne profiterait pas des substances utiles que contient l'eau dans une aussi large mesure que celui qui a de la pente. Toutefois, si elle dépasse un certain degré, les eaux passent trop rapidement et abandonnent moins de principes fertilisants. En prenant les proportions de l'azote retenu par litre dans les eaux d'arrosage sur pente forte, Hervé-Mangon a trouvé, au cours de ses expériences, des chiffres qui le prouvent.

4^o Action calorifique de l'eau d'irrigation. — Au printemps, l'eau se réchauffe plus vite que le sol ; en automne, elle se refroidit moins vite. Il en résulte qu'au printemps elle élève la température du sol qui la reçoit plus rapidement que ne le ferait l'atmosphère et les rayons directs du soleil. Au commencement de l'hiver, elle le protège contre le refroidissement. La conséquence heureuse de ces phénomènes se constate aisément. Les prés irrigués sont verts plutôt que les autres, et ils le restent plus longtemps. Les irrigations de l'hiver protègent les végétations contre la gelée. Si, même, le froid a surpris les plantes, on peut en prévenir les fâcheux effets en les arrosant avant qu'elles ne soient dégelées (Muller et Villeroy). Aussi longtemps que l'eau coule sur un pré, elle y maintient la même température. A une certaine profondeur, 7 à 10 mètres, la terre garde la même température voisine de 10 à 12°. Les eaux qui proviennent des couches profondes gardent ce degré de chaleur au plus fort de l'hiver. Aussi, dans les pays où les froids sont tempérés et de courte durée, les sources peuvent entretenir la végétation pendant toute l'année. C'est la raison d'être des irrigations d'hiver du Milanais, qui entretiennent les prés fameux appelés *marcites*.



Cette action de l'eau sur la température du sol rend la pratique des irrigations de printemps très délicate. Il faut se garder, à ce moment de l'année, d'envoyer sur les terres des eaux qui pourraient en abaisser la température.

Les expériences récentes, de MM. Müntz et Gaudechon montrent que l'eau qui arrive sur des terres exposées au soleil durant l'été élève la température de ces terres d'une façon très sensible et d'autant plus qu'elles contiennent davantage de matières organiques. Ces expériences très intéressantes tendraient à expliquer pourquoi la pratique des jardiniers défend les arrosages en plein soleil. D'ailleurs, il est clair que la chaleur solaire évapore vite l'eau que l'on donne à la terre et qu'au point de vue purement économique il vaut mieux n'arroser qu'à l'ombre.

Les eaux des *fontanili* qui servent à l'irrigation des marcites sont des eaux de sources dont la température se maintient constamment en hiver à 10 ou 11°, tandis que celles des canaux ne dépassent pas 3 ou 4°. Elles seraient nuisibles aux cultures pendant l'été si on ne les laissait pas longtemps se réchauffer au contact de l'air. Mais, en hiver, pendant trois ou quatre mois, débitées à raison de 42 litres à la seconde, elles couvrent la prairie d'un voile d'eau continu. Cette eau, relativement chaude, s'interpose entre l'eau froide et le sol, le réchauffe et maintient admirablement la végétation. En avril, lorsque la température de l'air suffit, on retire l'eau continue. La marcite est dès lors soumise à de simples arrosages, comme les prairies ordinaires, mais donnés plus fréquemment et avec plus d'abondance. Les marcites couvrent près de 5 000 hectares. Elles se louent de 250 à 500 francs l'hectare. En six à huit coupes par an, de février à octobre, elles produisent jusqu'à 14 000 kilogrammes par hectare de foin sec. Tandis que, dans le Milanais, les prairies ordinaires nourrissent une vache trois quarts par hectare, les marcites peuvent en nourrir quatre et quelquefois même cinq (1).

(1) A. HERISSON, Rapport sur les irrigations de la vallée du Pô (*Annales de l'Institut agronomique*, 1883).



3. — L'irrigation bien dirigée délivre les prés des Insectes, des animaux et des plantes nuisibles.

Les arrosages contribuent à la destruction des courtilières, des taupes, des souris, etc. ; ils détruisent les mousses, les bruyères et les joncs s'ils sont bien conduits. Ils entretiendraient, au contraire, ou même ils feraient naître ces mauvaises plantes s'ils étaient mal dirigés et s'ils laissaient séjourner des flaques d'eau à la surface du sol. On a d'ailleurs observé que l'irrigation faite à tel ou tel moment de l'année favorise la végétation de telle ou telle plante.

4. — L'irrigation pratiquée avec des eaux stériles épuise les terres si on n'y apporte pas des engrais complémentaires.

Ce que nous avons dit de l'action des eaux montre qu'elles mobilisent en quelque sorte les matières fertilisantes contenues dans la terre pour les mettre à la disposition des plantes. Celles-ci épuiseraient donc peu à peu les réserves du sol, si on ne prenait soin de restituer ce qu'elles emportent chaque année. Cette restitution peut être inutile pour les éléments que les eaux amènent avec elles. Mais elle s'impose pour ceux qu'elles n'apportent pas. D'ailleurs, l'eau, en déterminant l'oxydation des matières organiques, se charge d'acide carbonique et d'acide nitrique, en sorte qu'elle peut entraîner la chaux et les principes utiles solubles. Il y a là une cause d'appauvrissement, en dehors des prélèvements des récoltes. Aussi les rendements d'une prairie arrosée avec des eaux stériles ou pauvres, ne recevant aucun engrais, pourraient-ils baisser peu à peu après avoir été très remarquables à l'origine.

Le Dr Gerlach a fait à ce sujet des recherches sur les sols légers de l'Institut de Bromberg. Les fumures appliquées aux terres irriguées ont produit des récoltes supérieures et amené une diminution sensible dans les quantités d'eau nécessaires pour produire 1 kilogramme de matière végétale sèche. Les récoltes des parcelles laissées sans fumures sont allées en diminuant. C'est surtout l'azote et la potasse qu'il a fallu donner au sol léger de Bromberg. En pareil cas, le mieux est d'employer les engrais verts pour fournir l'azote. Ils donnent du corps à la terre et modifient son état physique de manière que l'eau puisse y circuler dans le sens horizontal.

CHAPITRE II

QUALITÉS DES EAUX EMPLOYÉES
A L'IRRIGATION.

La première qualité que doit avoir l'eau destinée à l'irrigation, c'est de ne pas contenir de substances qui soient nuisibles aux plantes.

Les eaux qui ont été utilisées par l'industrie, notamment celles qui ont servi à laver les minerais métalliques, sont souvent mauvaises. Les eaux qui proviennent des tourbières, des bois de chênes ne sont pas toujours bonnes. Au moins est-il nécessaire de les laisser déposer et de les aérer en les laissant courir à l'air avant de s'en servir.

Il en est de même pour les eaux qui, après avoir traversé des tourbières, filtrent au travers de bancs calcaires.

L'origine même de l'eau donne des renseignements sur sa composition. Les eaux qui ont filtré à travers d'épaisses couches de sables sont pauvres. Les rivières qui ont traversé des terres fertiles, qui ont reçu de nombreux ruisseaux sont presque toujours d'un emploi avantageux. *En principe, l'eau a des effets d'autant meilleurs qu'elle provient de terrains plus différents de ceux sur lesquels on l'emploie.*

La couleur de l'eau, son aspect fournissent un indice de sa qualité. Une eau trouble, limoneuse, de couleur jaunâtre, contient généralement plus d'éléments fertilisants qu'une eau très claire. L'aspect brunâtre de l'eau qui a traversé certaines landes ou des tourbières ne doit pas tromper. Elle n'est pas bonne dans la généralité des cas. Elle peut cependant être employée sur des sols calcaires ou richement fumés. Enfin la flore des rives et celle des plantes aquatiques caractérisent jusqu'à un certain point la qualité de l'eau. On considère comme de bon augure la présence des conferves (*Conferæ*), du cresson de fontaine (*Nasturtium officinale*), du cresson de cheval (*Vernica becca bunga*), du jonc fleuri (*Butomus umbellatus*), de la glycérie aquatique (*Glyceria aquatica*). Au contraire, les Cypéracées (*Cyperacæ*), les Joncacées (*Juncæ*), le



roseau à quenouille (*Arundo donax*), la ciguë aquatique (*Cicuta virosa*) indiquent une eau de qualité inférieure.

On peut corriger les eaux et les améliorer. Quand elles contiennent des matières en suspension qui nuiraient à la végétation, on les laisse déposer dans de petits réservoirs. Quand elles sont trop froides et qu'elles sont pauvres en oxygène, comme les eaux qui proviennent de la fonte des glaciers, on les laisse circuler à l'air et à la lumière dans de longs canaux découverts.

Voici, d'après Vidalin, comment on les améliore dans le Limousin.

Ces eaux sont rassemblées dans des réservoirs appelés *serbes* (du latin *servare*, conserver), où elles s'aèrent tout en recevant quelques eaux écoulées à la surface du sol qui ont entraîné les engrais des terrains supérieurs ; elles recueillent aussi de nombreuses feuilles mortes chassées par le vent. Les *algues* qui végètent en abondance sur les parois du réservoir leur fournissent de la matière organique assez riche en azote. Aussi l'aiguadier, en vidant le réservoir, doit-il le racler avec beaucoup de soin. De cette façon, les eaux s'aèrent mieux, et elles se mélangent avec les détritiques de plantes qui les enrichissent.

On ne doit pas employer, sans l'avoir corrigée, l'eau qui, par un défaut de pente ou par un séjour prolongé dans des fossés, s'est corrompue. Elle a pris une teinte jaunâtre, et elle laisse déposer un sédiment floconneux couleur de rouille. On améliore ces eaux en les faisant couler dans des fossés à pente sensible et dont le fond est garni de cailloux. S'il est impossible, à cause de la disposition du terrain, d'obtenir assez de pente, on établit de petites chutes qui atteignent le même résultat en agitant l'eau.

Les eaux chargées de sel, en particulier de sel marin, sont nocives aux plantes. D'après MM. A.-Ch. Girard et Carrier, professeurs à l'Institut agronomique, la limite de concentration des eaux salées d'irrigation peut être fixée à 0,03 p. 100 de chlorure de sodium ou de carbonate de soude et à une teneur variant de 0,17 à 0,30 p. 100 des autres sels.



CHAPITRE III

MOYENS DE SE PROCURER DE L'EAU
POUR LES IRRIGATIONS.

- Les eaux que l'on emploie aux irrigations proviennent :
- 1° Des sources ;
 - 2° Des étangs ou réservoirs qui réunissent les eaux de pluie qui tombent sur un bassin de réception ;
 - 3° Des cours d'eau ;
 - 4° Des canaux d'irrigation ;
 - 5° Du produit des drainages.

I. — Eaux de sources.

Les eaux des sources, nous l'avons déjà dit, possèdent souvent la propriété d'être sensiblement plus chaudes en hiver que l'atmosphère. Cela les rend précieuses pendant la saison froide. Et nous avons montré quel parti merveilleux les Italiens avaient tiré des sources du Milanais pour créer les marçites. Le procédé milanais pourrait s'appliquer dans beaucoup de contrées situées au pied de hautes montagnes ou de plateaux qui emmagasinent, puis laissent filtrer les pluies et les neiges. Toutefois il faut que la nappe souterraine soit abondante et que sa profondeur ne dépasse pas 4 mètres. Les *fontanili* (en italien) s'obtiennent en creusant le sol jusqu'à la nappe liquide et en conduisant les eaux jusqu'au niveau de la plaine inférieure, à l'aide d'une tranchée. Pour que l'irrigation soit possible, il faut nécessairement que cette plaine soit à un niveau convenable et qu'elle ait une pente suffisante. Les points où se trouvent les sources se reconnaissent à des suintements et à la présence de certaines plantes. En chacun de ces points, on creuse le sol jusqu'à ce qu'on ait bien dégagé le *surgeon*. Puis on le coiffe d'un tonneau sans fond soigneusement cerclé. Le tonneau est enfoncé jusqu'à ce que son bord supérieur ne dépasse que de 7 à 8 centimètres



curva
les coudes brusques qui amènent des pertes de charges.

Les vallons des pays de montagne sont plus ou moins riches en sources, selon qu'ils sont dominés par une étendue plus ou moins considérable de versants, surtout lorsque ceux-ci sont boisés. *arbori. saclos*

Dans les vallons du Limousin, il y a des sources nombreuses et des mouillères. *alagacien* Abandonnées, elles formeraient des marécages et seraient très nuisibles, tandis que l'on peut en tirer un parti avantageux pour l'irrigation des terrains inférieurs. Vidalin (1) donne à leur sujet des conseils pratiques. Nous croyons devoir les signaler, car ils ont une portée générale.

Si *les sources ne sont pas apparentes*, dit-il, l'humidité extrême des terrains, la mauvaise qualité de leur produit sont des signes caractéristiques de l'existence de veines d'eau dans le sous-sol. On exécute alors les travaux suivants.

Au moment de la sécheresse, on marque à l'aide de piquets les points les plus humides, puis on attend que les premières pluies de l'automne aient rendu aux eaux souterraines leur circulation normale. On trace alors sur le sol l'emplacement qu'occuperont les fossés d'assainissement. Ceux-ci doivent partir des points où s'est manifesté l'excès d'humidité pour aboutir à un collecteur principal tracé dans le thalweg du terrain. On creuse ensuite les fossés en commençant par les collecteurs et en attaquant le point le plus bas pour remonter successivement jusqu'à chacun des points sourciers. Il faut suivre les filets d'eau qu'on peut découvrir en creusant jusqu'à ce qu'on ait atteint la *veine mère*, autant que possible. On doit creuser les tranchées assez profondément pour toucher le fond imperméable, ou le roc dur. Dans un sous-sol argileux friable, il est bon d'aller jusqu'à 2 et 3 mètres de profondeur, pourvu que les eaux puissent atteindre le niveau où elles doivent déboucher. Lorsqu'une tranchée coupe un filon de terrain très perméable, on en couvre le fond avec de la terre glaise. *argilla* La pente des fossés doit être régulière. Il faut qu'elle aille régulièrement en croissant, de manière que la vitesse des eaux ne diminue en aucun cas. On empierre ces

(1) VIDALIN, Pratique des irrigations. Paris, 1874.

fossés, en suivant les méthodes qui seront décrites plus loin pour l'établissement des drains en pierres sèches. Les labours fournissent généralement en abondance les matériaux nécessaires.

Le collecteur principal débouche, soit à la surface du sol, dans une rigole horizontale, soit dans un réservoir.

Lorsque les sources sont apparentes, on creuse en chacun des points qu'elles occupent un petit bassin *s* (fig. 18), dont on forme la chaussée à l'aide de la terre qui provient des fouilles.

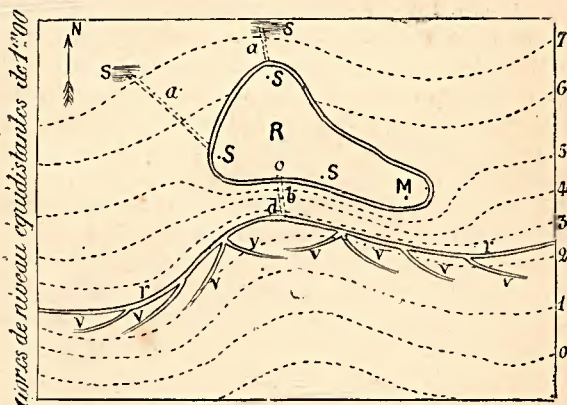


Fig. 18. — Établissement d'un petit réservoir en montagne, d'après Vidalin.

Un tronc d'arbre évidé sert de buse à chacun de ces bassins pour le passage de l'eau sous la chaussée. Cette buse aboutit à une rigole, *a*, et celle-ci conduit l'eau à un réservoir *R* de dimension plus considérable, établi à un niveau inférieur, qui réunit déjà les sources *S*, *S*, *S* d'anciens réservoirs et celle d'une mouillière *M*. Ce réservoir reçoit ainsi, avec toutes les eaux souterraines, les eaux d'égouttement des terrains supérieurs. Il peut mettre à la disposition des cultivateurs des ressources assez importantes pour l'irrigation ; *r*, *r* représentent une rigole d'irrigation et *v*, *v* figurent des rigoles de déversement.

Vidalin donne d'utiles instructions sur l'établissement des



petits réservoirs alimentés par des sources, tels qu'on peut les installer dans les pays de montagnes.

On commence par tracer à l'aide de piquets l'emplacement du réservoir. La chaussée doit avoir une forme légèrement convexe vers l'intérieur du bassin, afin de pouvoir mieux résister à la pression de l'eau. Le dessin de l'ouvrage étant arrêté, on ^{limbasse} dégazonne le terrain en formant des briquettes aussi larges, que possible $\left(\frac{0^m,20}{0^m,40}\right)$. Elles sont mises de côté pour servir au revêtement. Puis on commence les fouilles pour l'emplacement de la chaussée. Elles sont descendues sensiblement (1 mètre) au-dessous du plafond du réservoir. On les corroie très soigneusement pour éviter les infiltrations. C'est l'ouvrier le plus habile de l'équipe qui est chargé de ce travail. Une damette à la main, de solides sabots aux pieds, il parcourt les fouilles de fondation en tassant énergiquement la terre que lui envoient ses aides. Cette terre est choisie dans la partie des excavations où elle est la plus grasse.

Les fondations ayant atteint le niveau du plafond du réservoir, on dispose au-dessus la buse qui servira à l'écoulement des eaux. Ce n'est autre chose qu'un tronc d'arbre de 6 à 8 mètres de long, de 1^m,50 de diamètre, creusé et percé à une extrémité d'un trou carré, de 1 décimètre carré au plus, qui sert de trou de bonde. Afin que la terre ne soit pas affouillée sous l'orifice de sortie des eaux, on la recouvre de planches de peu de valeur et résistantes à l'eau, telles que des planches d'aulne.

On continue à élever le corroi jusque vers la hauteur de la chaussée, puis on procède au revêtement. Du côté de l'eau, on emploie les pierres extraites des fouilles, et, lorsqu'elles sont épuisées, les briquettes de gazon. Du côté extérieur, on se sert des matériaux de moindre valeur. Du côté de l'eau, la pente du revêtement est à peu près 0,5 de base pour 1 de hauteur ; du côté extérieur, 1,5 de base pour 1 de hauteur. On doit soigner particulièrement la façon de la partie de corroi qui est en contact avec l'eau.

La profondeur du réservoir doit atteindre 1^m,80 ou 2 mètres, mais ne pas dépasser cette limite. La pression de l'eau pour-



rait refouler les eaux dans les veines des sources et nuire, par conséquent, à leur débit.

Il est difficile de déterminer *a priori* quelle doit être la capacité de l'un de ces petits réservoirs. Vidalin donne la règle pratique suivante : un réservoir est trop petit, s'il déborde en moins de deux jours ; il est trop grand, s'il n'est pas plein en quatre jours durant l'hiver et le printemps, alors que les sources sont dans toute leur puissance. Le réservoir qui s'emplit alors en trois jours est dans les meilleures conditions possibles de bonne utilisation de l'eau.

Mieux vaut d'ailleurs construire un réservoir trop petit que trop grand. Il est toujours facile de l'agrandir.

Pour qu'un réservoir reste en bon état, il doit être l'objet d'un entretien particulier. Chaque fois qu'on le vide, il faut le racler avec soin pour enlever les boues, les feuilles mortes, les algues qui poussent sur les bords, etc. Tous les trois ou quatre ans, on doit en outre le curer à fond. Sans ces précautions, les sources qui l'alimentent pourraient être aveuglées.

Pendant l'été, il faut absolument éviter qu'il reste à sec. Les rayons du soleil fendilleraient les parois ; les souris, taupes, etc., y causeraient des dégâts. Enfin des miasmes dangereux, origine de fièvres, s'en dégageraient.

2. — Étangs et grands réservoirs.

Les eaux de pluie, lorsqu'elles coulent sur des terrains suffisamment imperméables, pourvus d'une certaine pente, peuvent fournir à l'irrigation des ressources considérables. On les réunit dans des étangs ou dans de grands réservoirs. Ceux-ci offrent une eau riche en matières fertilisantes, qui s'améliore encore durant son séjour dans le bassin. Leur propriétaire jouit d'un avantage précieux sur le riverain des rivières ou des ruisseaux ; c'est qu'il est le maître de sa provision d'eau, qu'il peut en user comme bon lui semble.

On doit naturellement s'efforcer de recueillir la plus grande quantité d'eaux pluviales possible. Aussi importe-t-il d'exécuter des travaux dans ce but.

Il faut couvrir les terres qui fournissent les eaux pluviales



d'un réseau de fossés. Les *collecteurs*, tracés suivant la plus grande pente, autant qu'on le peut, reçoivent les contributions de fossés plus petits qui sillonnent le sol et qui sont d'autant plus rapprochés que la quantité d'eau à recueillir est plus considérable. Les collecteurs aboutissent au réservoir.

L'emplacem^{ent}ent qu'on choisit pour y établir un réservoir doit être tel, en premier lieu, qu'il corresponde à un bassin capable de remplir le réservoir.

En outre, il faut : qu'il soit situé assez haut afin que le réservoir puisse envoyer ses eaux sur le terrain qu'on veut transformer en prairie irriguée ; que le sol soit aussi imperméable que possible ; qu'il soit tel que le réservoir présente le moindre développement de digues pour la plus grande surface possible ; qu'il y ait assez de terre et de matériaux à proximité pour construire la digue.

Le choix de l'emplacement du réservoir est toujours très délicat et demande beaucoup de sagacité.

On peut estimer à 50 p. 100 de la hauteur de la pluie qui tombe chaque année dans la région, la hauteur de la couche d'eau que l'on pourra recueillir ; le reste est perdu par évaporation et par infiltration. Il est clair que ce n'est là qu'une appréciation grossièrement approximative. On évaluera donc la quantité d'eau que contiendra le réservoir au produit de la moitié de la hauteur de l'eau tombée sur le bassin d'alimentation par la surface de ce bassin. Cette surface se détermine au planimètre.

Quant à l'étendue des prés que le réservoir permettra d'irriguer, on l'appréciera, d'après Pareto, en admettant qu'il faut compter à peu près 250 mètres cubes par hectare et par arrosage, en utilisant l'eau des colatures. Cela donne pour les cinq ou six arrosages annuels un volume de 2 000 mètres cubes par hectare de prairie. C'est peu. La quantité d'eau nécessaire à l'arrosage est d'ailleurs variable avec le climat, le sol et le genre d'irrigation (Voy. p. 311 et suiv.).

La profondeur du réservoir ne doit pas dépasser 5 mètres. S'il était nécessaire d'emmagasiner davantage d'eau, mieux vaudrait établir plusieurs bassins.

Pareto, qui a construit plusieurs grands réservoirs, a donné



d'excellentes indications à leur sujet dans son livre *Irrigation et assainissement des terres*. Nous nous en inspirons dans les détails qui suivent.

C'est la construction de la digue, entourant le réservoir et maintenant les eaux, qui doit naturellement demander le plus de soins. Il est avantageux de réduire son périmètre au minimum en choisissant un emplacement tel que les terrains environnants forment déjà une partie de la ceinture du bassin.

Dans les pays de montagnes, les coteaux rapprochés permettent de faire des digues de peu de longueur. Mais le réservoir doit être très profond pour renfermer un cube d'eau de quelque importance. Dans les pays de plaines, c'est l'inverse. Les digues sont longues, la profondeur faible. Entre ces deux extrêmes se placent les pays de collines : ce sont les plus avantageux pour la création des réservoirs dans les vallées.

Dans tous les cas, on s'efforcera de diminuer le plus que l'on pourra le développement de la digue. On la trace avec le niveau. Elle peut être construite soit en maçonnerie, soit en terre. Les digues en terre sont les plus recommandables au point de vue de l'économie et de la simplicité de leur établissement. Elles sont très solides quand elles sont bien construites, et elles suffisent à contenir des masses d'eau relativement considérables.

La direction de l'ouvrage étant arrêtée, à chaque profil en travers on place quatre piquets : deux donnent les arêtes de la chaussée ; les deux autres, les pieds des talus.

Les fondations de la digue doivent atteindre autant que possible le sous-sol imperméable ; celles du milieu de l'ouvrage sont de 1 mètre plus profondes. Jamais elles ne sont établies sur une surface plane, mais sur une surface raboteuse, obtenue à coups de pioche donnés en travers de la direction de la digue.

La terre qui sert à former la digue doit avoir été dressée soigneusement et damée. On doit rejeter les gazons et les pierres. Ces matériaux ne servent qu'au revêtement. Il est mauvais de prendre la terre dans l'intérieur des réservoirs. On doit la prendre sur quelque mamelon du voisinage.

La digue prend au sommet une largeur de 1^m,50 à 2 mètres. Elle doit dépasser de 0^m,70 environ le niveau de l'eau pour



des réservoirs qui ne dépassent pas 3 à 7 hectares. Il est prudent de lui donner en son milieu plus de hauteur qu'à ses extrémités. L'eau qui s'échapperait causerait, là, plus de dégâts qu'aux extrémités, où la hauteur de chute est faible. Il faut prévoir, en général, un tassement de $1/20$.

Le talus extérieur représente une ligne droite avec une pente de 1 ou $1\frac{3}{4}$ de base pour 1 de hauteur, suivant la nature des terres.

La pente du talus intérieur est indépendante de la nature des terres ou à peu près. Pareto place sa naissance à une distance de la projection verticale de la crête du haut, égale à la hauteur h de la digue multipliée par 2,80.

En théorie, le talus doit affecter une forme légèrement concave. C'est une parabole dont le paramètre est égal à la hauteur de la digue au-dessus de la base divisée par 2,80.

En pratique, on le trace suivant une ligne droite. C'est l'eau elle-même qui, peu à peu, lui donne sa forme réelle. La digue étant achevée, on revêt les talus des gazons que l'on a enlevés sur son emplacement et dans le voisinage ; au besoin, on en sème. C'est une mauvaise chose que de planter des arbres sur le talus extérieur ; les racines amènent des infiltrations. On peut planter sur le couronnement une haie d'épine blanche ou de grands ajoncs pour empêcher les moutons de s'y promener et de causer des dégradations. Il est recommandable de faire une plantation de peupliers en dehors du talus extérieur. On obtient ainsi un rideau d'arbres qui protège, en été, contre les émanations qui peuvent s'échapper de l'étang.

On ne doit utiliser le réservoir que six mois au moins après sa construction.

Les réservoirs se complètent par l'établissement de *déversoirs* et de *bondes* ou *vannes*.

Les déversoirs permettent aux eaux de s'écouler librement lorsqu'elles atteignent le niveau au-dessus duquel elles compromettraient la solidité de la digue.

C'est à l'aide d'une buse aboutissant à une bonde ou à une vanne que l'on vide le réservoir pour envoyer les eaux sur les terres à irriguer.

Les déversoirs sont construits en pierres, en briques, en bois,



en clayonnage ou en gazon. C'est le gazon qui constitue le matériel le plus économique et le plus convenable. Les déversoirs sont placés aux extrémités de la digue, vers ses points de raccordement avec le terrain naturel, là où la hauteur de chute est la plus faible. Ils sont placés à 0^m,70 environ au-dessous du sommet de la digue. On leur donne 3 à 4 mètres de largeur. Les eaux qu'ils laissent échapper se réunissent dans un fossé qui longe le talus extérieur. Puis elles se rendent dans le grand fossé de colature qui est établi dans le thalweg de la vallée. Lorsque les eaux, qui constituent ainsi le *trop-*

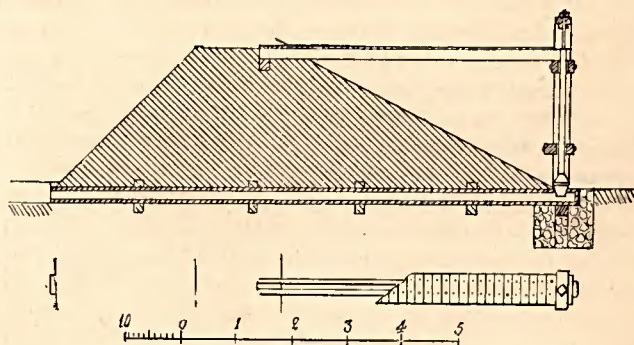


Fig. 19. — Coupe d'une digue d'étang, de la buse et de la bonde (système Pareto).

plein de l'hiver, doivent servir à l'irrigation, on les envoie dans le canal d'amenée qui part de la bonde. Une vanne spécialement affectée à cet objet permet d'interrompre ou d'établir la communication.

Les bondes et les vannes de prise d'eau, ainsi que les buses ou conduites qu'elles ouvrent et qu'elles ferment alternativement, sont des ouvrages très importants et très difficiles à bien établir.

Le conduit qui traverse la digue peut être en bois ou en maçonnerie. Dans les réservoirs de faibles dimensions, on se sert d'un tronc d'arbre creusé. Dès que le bassin a quelque importance, il faut établir ce conduit avec des madriers ou



des pierres ou des briques. Dans tous les cas, on fera bien de disposer à sa surface extérieure des tasseaux qui interrompront la continuité des infiltrations et qui éviteront ainsi des dégradations graves.

On a imaginé différents systèmes d'ouverture et de fermeture de la buse. L'un des plus recommandables nous paraît être celui qui est indiqué par Pareto et que représente la figure 19. Il comporte un bondon en bois de charme couvert de peau. Ce bondon est mû à l'aide d'une tige de bois. Celle-ci est guidée et soutenue par une forte charpente engagée à sa partie inférieure dans les murs de soutènement qui entourent la bonde. Le sommet de la tige est terminé par une vis portant deux écrous placés l'un au-dessus de l'autre et que l'on peut manœuvrer à l'aide d'une clef. Le premier écrou sert à ouvrir, le second à fermer la bonde. On règle l'écoulement suivant les besoins de l'irrigation. Un petit pont fixe permet d'accéder du sommet de la digue à l'endroit où se manœuvre la bonde.

Ce système de fermeture, ainsi que les différents agencements qui sont décrits dans les traités spéciaux, sont déjà anciens. Les procédés de construction moderne, l'emploi des tuyaux de fonte et des vannes métalliques à glissières permettent aujourd'hui d'assurer la vidange des réservoirs d'une manière plus simple et plus en rapport avec les besoins de l'irrigation.

Quel que soit le système employé, il est bon de disposer à la sortie de la bonde un petit réservoir. Il reçoit le premier choc de l'eau, diminue la vitesse acquise de celle-ci et empêche le ravinement.

On peut avantageusement substituer le siphon de fonte ou de tôle bitumé à la bonde ou à la vanne. La branche horizontale du siphon traverse la digue. Elle est disposée au niveau que l'on doit atteindre dans le réservoir et non le dépasser. La petite branche plonge dans l'étang, la grande est entourée à son extrémité d'un vase de 5 à 6 centimètres de profondeur. Le siphon ainsi agencé s'amorce seul et continue à couler jusqu'à ce que le niveau de l'eau dans le réservoir soit descendu au-dessous de l'extrémité de la petite branche. L'eau remplit le vase dans lequel plonge la grande branche et de là s'écoule



dans le canal disposé à cet effet. Le petit récipient plein d'eau a pour effet d'intercepter la communication du siphon avec l'air extérieur. Sans cette précaution, l'air pénétrerait dans le siphon et empêcherait l'amorçage de se produire.

Pour se conserver en bon état, les réservoirs et les étangs doivent être l'objet de soins particuliers. Le curage compte parmi les plus nécessaires. On cure les étangs et les réservoirs à des intervalles plus ou moins rapprochés, suivant que les eaux déposent plus ou moins. C'est à cette condition seulement qu'ils conservent leur profondeur. Les boues que l'on retire constituent d'ailleurs un bon engrais. Il faut veiller aux moindres fissures qui peuvent se produire dans la digue, surtout pendant les premiers mois qui suivent sa construction. On doit les réparer immédiatement. Ces fissures ne se produisent plus que rarement après que les gazons se sont bien développés sur le talus extérieur et sur la crête de la digue.

C'est une bonne chose que de tapisser le haut du talus intérieur avec des fascines maintenues à l'aide de piques. Elles amortissent le choc des vagues qui pourrait endommager gravement la chaussée.

3. — Eaux des fleuves, des rivières et des ruisseaux.

Elles constituent, avec les eaux des canaux, les principales ressources de l'irrigation. Mais les riverains ne peuvent généralement pas en disposer à leur entière volonté. Ils sont tenus de respecter les droits des usagers. Et des règlements spéciaux, qui organisent la jouissance de ces eaux, interviennent le plus souvent.

Sauf de rares exceptions, les rivières et les ruisseaux occupent les parties basses des vallées. Ils ne pourraient donc servir immédiatement à l'arrosage de leurs rives que si on élevait leurs eaux à l'aide de machines. Et cela se fait quelquefois. Mais c'est un procédé qui est relativement onéreux. Généralement, on irrigue avec les eaux de la rivière dérivée en amont du terrain qu'il s'agit d'arroser.

On conduit ces eaux à l'aide d'un canal à très faible pente jusqu'à la ligne de faite des terrains à arroser d'où elles des-



cendent sur les prés par l'effet de leur propre poids. Le canal, dont la direction est à peu près horizontale, contourne les obstacles ou les traverse, soit en remblai, soit en déblai. La rivière continue à descendre dans la vallée. La zone qui se

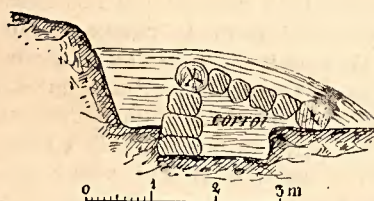


Fig. 20. — Barrage rustique d'un ruisseau. Coupe suivant AB (fig. 17).

trouve ainsi placée, entre le canal situé en haut, et la rivière qui serpente en bas, peut être arrosée. La rivière ou le ruisseau qui limite en bas cette zone se trouve naturellement en position de recevoir les eaux en excès.

La dérivation d'un cours d'eau comporte essentiellement trois ouvrages : un barrage, un système de *vannes* et un canal de dérivation.

Le barrage est établi en travers du cours d'eau, en aval de

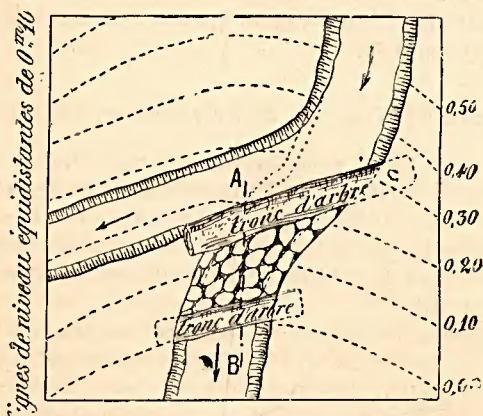


Fig. 21. — Barrage rustique d'un ruisseau.
Plan.

la prise d'eau, à un endroit où les rives sont le plus rapprochées. Il surélève les eaux et les oblige à s'engager dans le canal de dérivation.

La construction des barrages dépend de l'importance du cours d'eau qu'il s'agit de dériver.

Pour un simple ruisseau, l'opération est des plus faciles. Quelques grosses pierres et des troncs d'arbres suffisent pour établir à peu de frais et sans ouvriers spéciaux des barrages très résistants. Les figures 20 et 21, reproduites d'après Vida-

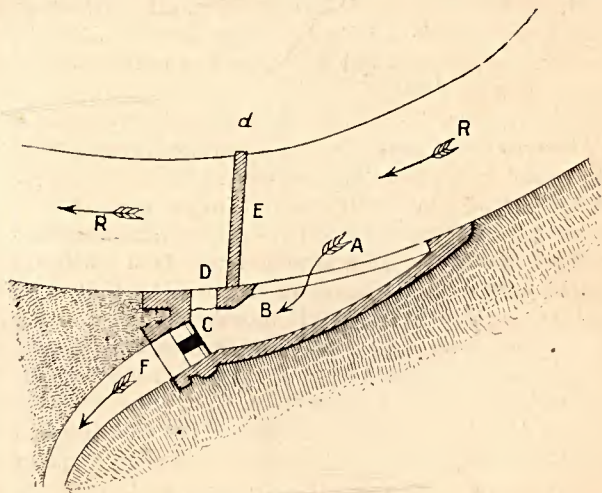


Fig. 22. — Barrage et prise d'eau, d'après M. J. Crevat.
Plan.

lin, montrent l'agencement de l'un de ces barrages rustiques. Il convient toujours de protéger par un radier en bois ou en pierre, ou par de simples enrochements, la partie aval du barrage. On évite ainsi les dégâts qu'amènerait le ravinement des eaux lors d'une forte crue.

Voici comment M. J. Crevat décrit les travaux de prise d'eau sur la rivière l'Ain (1). Une des questions les plus difficiles dans un projet de dérivation, c'est l'établissement de la prise d'eau, surtout lorsque la rivière est torrentueuse, large, et qu'on

(1) CREVAT, *Journal d'agriculture pratique*, 1903.



doit se défendre contre l'envahissement des graviers et du gros sable.

Il convient de profiter, quand c'est possible, d'un coude de la rivière qui ralentit la vitesse et qui élève naturellement le niveau de l'eau. On établit sur le bord de la rivière (fig. 22), avec de grosses pierres de taille, un mur A de 30 mètres de long, dont le pied, établi au niveau des basses eaux, est protégé par un dallage en ciment de 3 mètres de large destiné à faciliter le glissement des graviers qui peut être très considérable pendant les grandes crues.

Ce mur A, devant servir de déversoir, est vertical du côté de l'Ain avec 0^m,30 de hauteur au-dessus de la rive actuelle et soutenu en dehors par un talus en ciment à pente très allongée formant le fond d'un petit bassin de dépôt B qui peut être facilement déblayé par la levée d'une grande vanne de chasse D après les fortes crues. Voici le programme de la construction.

Établir à la partie inférieure du bassin de dépôt B un épais massif de maçonnerie formant la tête de canal F dans lequel sont ménagés deux tunnels C de 2 mètres de largeur sur 1 mètre de hauteur, dont l'entrée est commandée par deux portes métalliques en fer nervé ; l'eau passant par ces tunnels débouche dans le canal de dérivation F qui doit être là peu profond, mais large (5 mètres), se rétrécissant ensuite progressivement jusqu'à ce qu'il atteigne son tirant d'eau et sa largeur normale.

Établir dans le mur de défense A du bassin B, immédiatement en avant des martellières de prise d'eau et en aval du barrage, une vanne de chasse.

Établir transversalement à la rivière, à l'extrémité inférieure du déversoir, un solide radier de fond E rectiligne, un peu plus élevé que le fond de la rivière, et allant un peu en s'élevant vers la droite *d* ; surélever de 0,50 le niveau du courant et le rejeter contre le déversoir A, tout en élargissant un peu le lit.

Charpentier de Cossigny décrit un *barrage à chevalets*, qui se rencontre assez fréquemment dans le sud de la France.

Pour l'établir, on fixe en travers du lit de la rivière une série de chevalets, tels qu'ils sont représentés de profil par la



figure 24 et de face par la figure 25, où A représente un pieu de forte taille, incliné, et C, C' des contre-fiches. Sur ces chevalets

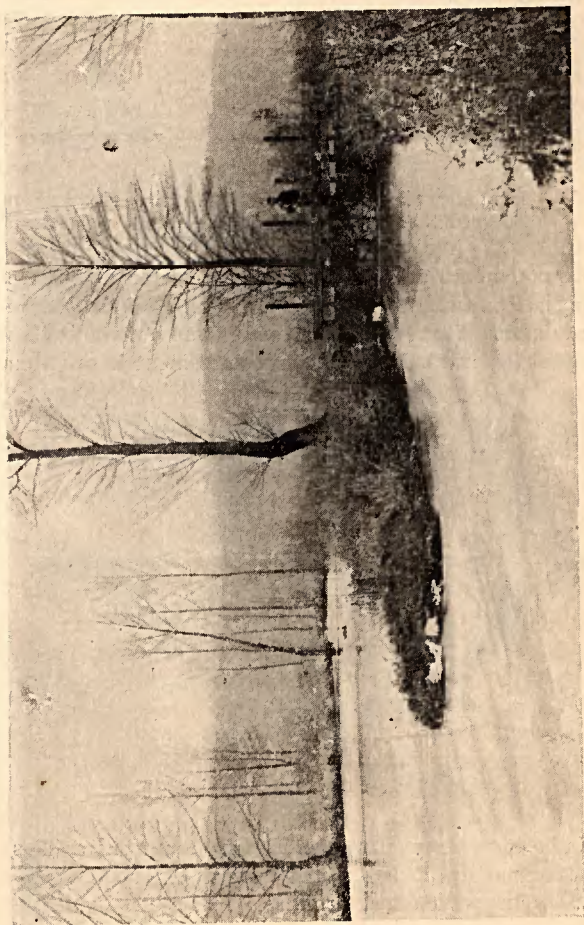


Fig. 23. — Barrage de garde ou tête d'eau.
Exploitations de M. P. de Malliard, à Saint-Loup-sur-Semouse (Haute-Saône). Cet ouvrage sert à prendre de l'eau dans la « Lanterne », affluent de la Saône, ou à en isoler le canal d'irrigation.

on cloue un platelage en madriers sur lequel on jette, à l'amont, des fascines et des graviers. A l'aval, on garantit le pied de

l'ouvrage contre les affouillements, à l'aide d'un enrochement maintenu par quelques piquets.

Les barrages importants sont construits en pierres ou en

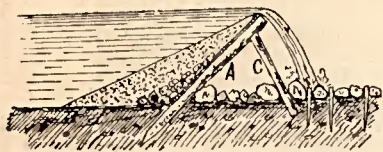


Fig. 24. — Barrage en chevalets, vu de profil.

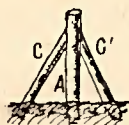


Fig. 25. — Barrage en chevalets, vu de face.

béton. On commence par établir en quelque sorte la carcasse du barrage. Profitant de l'époque de l'année où la rivière contient le moins d'eau, on bat en travers une série de solides piquets dont les extrémités supérieures dessinent le profil en

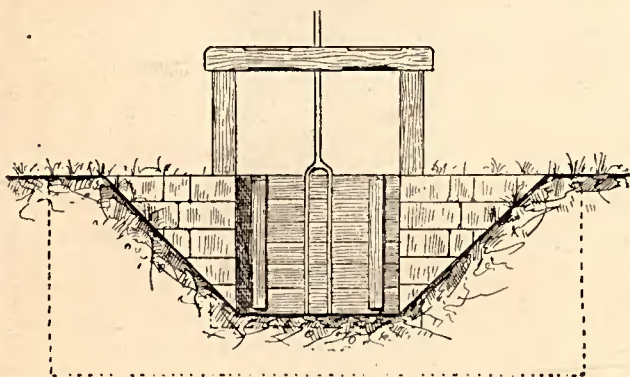


Fig. 26. — Vanne (élévation).

travers du barrage. Ces picux sont reliés les uns aux autres dans les deux sens par des moises. Entre eux, on enfonce des palplanches. La charpente étant terminée, on remplit les vides de cailloux et de pierres, puis on comble les interstices avec du gravier et de la terre. On recouvre la partie supérieure du barrage, soit avec un plancher en charpente, soit avec des moel-

lons à forte queue qui forment une sorte de pavage entre les moises (1).

Cette construction nécessite une assez grande quantité de bois de choix, et elle ne résiste pas à l'action du temps. La chaux hydraulique permet de constituer un bon béton avec lequel on peut faire d'excellents barrages. On commence par en établir la carcasse, comme il vient d'être dit, mais il faut

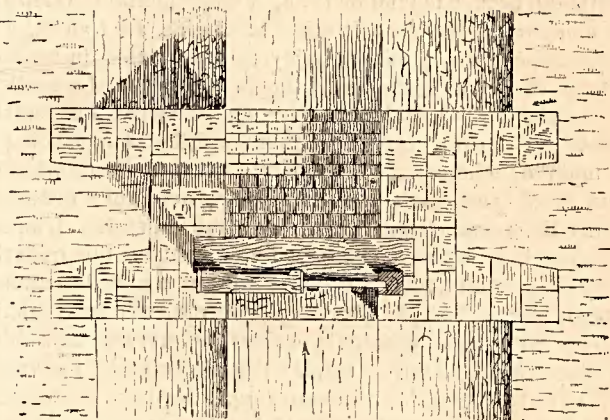


Fig. 27. — Vanne (plan).

employer des bois plus légers et de moindre quante; puis contre les palplanches on superpose, à la façon des bouteilles empilées en tas, une rangée de sacs grossiers remplis de béton. Ce béton ne tarde pas à prendre. Les sacs se soudent et forment ainsi une solide muraille. On achève le barrage en remplissant avec du béton l'intervalle limité par cette muraille. La face supérieure du barrage est garantie contre l'action de l'eau par un revêtement posé à bain de mortier hydraulique. On peut employer, pour constituer ce revêtement, des dalles, des moellons ou des briques posées de champ.

Les *vannes* placées à l'entrée du canal complètent l'en-

(1) CHARPENTIER DE COSSIGNY, Notions sur les irrigations appliquées aux terres en cultures, aux jardins et aux prairies, 1874.

semble des ouvrages de dérivation. Elles servent à l'admission de l'eau d'un canal dans un autre. Ce sont les portes qui ouvrent ou qui ferment les canaux.

Il y a un nombre considérable de modèles de vannes, depuis les plus grandes, qui s'appliquent aux canaux, jusqu'aux plus petites, que l'on emploie pour ouvrir ou fermer les rigoles d'irrigation. En principe, une vanne comporte un *seuil* horizontal qui occupe le fond de l'eau, et deux montants verticaux ou *bajoyers* contre lesquels glisse la *ventelle*. Le *linteau*, à la partie supérieure, réunit les bajoyers. L'ensemble du seuil du linteau et des bajoyers constitue la *martellière*. Le seuil et les montants sont établis en bois ou en pierre. La ventelle constitue la partie active de l'ouvrage. Elle est mue soit par la main de l'homme, directement ; soit par l'intermédiaire d'un mécanisme, levier ou crémaillère, avec roue dentée et manivelle, quand elle atteint une certaine dimension. L'amont et l'aval de la vanne, dès qu'elle livre passage à une quantité d'eau importante, doivent être protégés contre les affouillements par un fort plancher ou par un radier en maçonnerie.

Dans les sols peu résistants et dans les ouvrages bien faits, on drague jusqu'au terrain solide à l'emplacement de l'ouvrage. On bat en travers de la rivière une rangée de pieux, sur laquelle repose la vanne. Et de chaque côté de cette première charpente on coule de forts empatements de béton.

Les figures 26 et 27 représentent un modèle de vanne ordi-

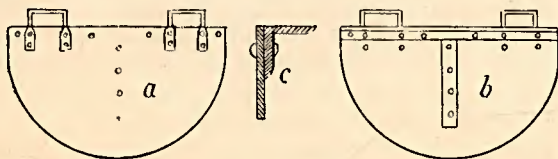


Fig. 28. — Petite vanne pour rigoles d'irrigation.

face où sont rivées les poignées ; *b*, face où sont rivées les pièces de renfort ; *c*, coupe agrandie de la partie supérieure et de la cornière de renfort.

naire. Les figures 28 et 29 représentent la petite vanne, d'un usage très pratique, construite en fer, que l'on emploie pour

ouvrir ou fermer les rigoles d'irrigation. La figure 29 montre que cette vanne est maintenue fixe à l'aide de deux pierres disposées en aval ; on pourrait remplacer ces pierres par des piquets en bois.

Quant au *canal de dérivation*, appelé aussi *canal d'amenée* ou *canal d'alimentation*, il s'amorce sur le cours d'eau un peu au-dessus du barrage. Ouvert ou fermé par une vanne, il doit suivre dans son tracé la partie supérieure du terrain et pré-

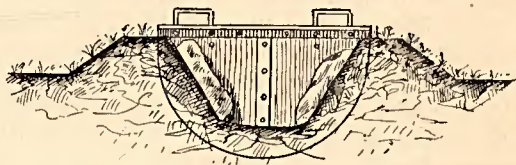


Fig. 29. — La même, placée dans la rigole.

senter le plus de relief possible. Le lecteur trouvera pages 217 et suivantes les règles qui guident l'ingénieur pour l'établir.

Évaluation du débit d'un cours d'eau. — Il est utile de savoir mesurer le débit d'un ruisseau, d'un canal ou d'une rigole d'irrigation.

Le débit d'un cours d'eau est égal au produit de la surface de la section mouillée par la vitesse moyenne de l'eau au même endroit. On le rapporte à la seconde. Pour évaluer l'aire de la section mouillée, on choisit un lieu où la pente soit uniforme, où la profondeur se rapproche autant que possible de la largeur et où ne se trouvent ni broussailles, ni obstacles qui pourraient modifier le libre écoulement de l'eau. On dresse sur une certaine longueur les bords et le fond du cours d'eau, de manière à les rendre plans et à leur assurer une pente uniforme. On s'efforce de donner à la section la forme d'un trapèze.

La profondeur verticale de l'eau multipliée par la demi-somme des largeurs au fond et à la surface donne alors l'aire de la section mouillée.

Quand on ne peut procéder ainsi, il faut relever le profil du cours d'eau en plusieurs endroits et prendre la moyenne des résultats. Pour relever un profil, on tend un cordeau d'une



rive à l'autre, perpendiculairement à la direction du cours d'eau et le plus près possible de la surface. Ce cordeau est fixé sur chaque rive à un poteau. A des distances égales marquées sur le cordeau, on pratique des sondages qui donnent la profondeur de l'eau en chacun des points de division.

On a ainsi les éléments nécessaires pour tracer sur le papier le profil du ruisseau ou du canal. Et la somme des surfaces de trapèzes que l'on obtient donne l'aire de la section mouillée.

La vitesse moyenne de l'eau se déduit de la vitesse moyenne à la surface. Elle est égale au produit de cette dernière par le facteur $0^m,80$ pour les canaux et les rivières de moyenne dimension ; ou par $0^m,687$ (Grebenaü) pour les petits ruisseaux et les rigoles. On peut déterminer facilement la vitesse de l'eau à sa surface par l'emploi des *flotteurs*. On jette dans l'eau, en choisissant un moment où il n'y a pas beaucoup de vent, plusieurs petits cylindres en bois lourd à faible section, susceptibles d'émerger presque entièrement. A l'aide d'une montre à secondes, on mesure le temps qu'ils mettent à parcourir une distance déterminée, 30 ou 40 mètres en aval et en amont du point où l'on a déterminé la section du cours d'eau.

Il convient de jeter les flotteurs à une certaine distance en amont du point où commence l'observation, afin qu'ils prennent bien la vitesse de l'eau. La vitesse est égale au quotient de l'espace parcouru, 30 à 40 mètres, par le nombre de secondes comptées. On répète l'opération plusieurs fois, de manière à obtenir une moyenne.

Quand le cours d'eau est sinueux, que la section en est irrégulière, mieux vaut employer un *déversoir* pour mesurer son débit.

Pour de petits ruisseaux, on se sert d'une simple planche en bois ABCD (fig. 30), dans laquelle on entaille une ouverture rectangulaire *abcd*, dont l'arête horizontale *bc* est taillée en biseau du côté de l'amont, afin d'obtenir un orifice en mince paroi. On place cet appareil en travers du cours d'eau, perpendiculairement à sa direction. Il faut choisir une époque où le régime soit permanent et une région où le mouvement soit à peu près uniforme. A l'aide de pierres, d'argile et de gazon, on bouche avec soin tous les interstices, de manière que toute

l'eau passe par l'ouverture *abcd* dont les dimensions sont en rapport avec le débit. Il faut s'assurer notamment qu'il ne passe pas d'eau sous le seuil et que celui-ci est bien horizontal.

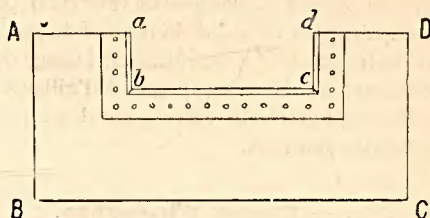


Fig. 30. — Déversoir de jauge.

Le débit Q par seconde, en litres, est donné par la formule approchée :

$$Q = 1\,000 \times l \times 1,77 h \sqrt{h}.$$

On connaît $l=bc$, largeur du déversoir ; il suffit donc de déterminer h , qui représente la hauteur de l'eau au-dessus du seuil à un endroit où la dénivellation de l'eau n'est plus sensible, c'est-à-dire un peu en arrière.

On peut mesurer h en observant jusqu'à quel niveau s'élève l'eau au-dessus du seuil, dans un tube gradué de 5 à 6 millimètres de diamètre, appliqué contre la paroi d'amont du déversoir.

On peut aussi disposer une règle de telle sorte qu'elle soit horizontale et appuyée, d'une part sur le milieu du déversoir et de l'autre sur un piquet enfoncé verticalement en amont. La charge h au-dessus du seuil est égale à la hauteur verticale comprise entre le bord inférieur de la règle et le niveau supérieur de l'eau. Il faut que la règle soit assez longue pour atteindre la région où la dénivellation de l'eau n'est plus apparente.

Enfin on peut prendre la hauteur de l'eau immédiatement au-dessus du seuil et la multiplier par 1,178.

Au lieu de se servir de flotteur pour la détermination de la vitesse des cours d'eau, on emploie souvent des appareils dont le principe repose soit sur la mesure de la pression que l'eau

en mouvement exerce sur une surface donnée, soit sur la mesure de la vitesse que l'eau imprime à des organes mobiles.

Au premier type appartient le *tube de Pitot* perfectionné par Darcy, et au second le *moulinet de Woltmann* perfectionné par Harlacher. L'espace restreint dont nous disposons ne nous permet pas d'entrer dans la description de l'usage de ces appareils. Les constructeurs les accompagnent d'ailleurs de notices détaillées. Et, la plupart du temps, les deux procédés que nous avons décrits suffiront.

4. — Canaux d'irrigation.*

Les grands canaux d'irrigation ne peuvent guère être exécutés que par l'État ou par des collectivités comme les départements. Ces travaux finissent par donner de beaux revenus, mais à si long terme que les particuliers, même constitués en compagnies, ne peuvent attendre les résultats de l'opération. L'État peut plus facilement poursuivre des œuvres de longue haleine. Il est d'autant plus intéressé à celles-ci qu'elles augmentent peu à peu la richesse du sol et, par conséquent, le produit des impôts. Il doit donc naturellement supporter les pertes que donne dans les premières années un canal d'irrigation. Et c'est l'une de ses missions essentielles que de doter le pays d'un réseau de canaux qui soit largement suffisant pour assurer les besoins des agriculteurs.

L'Italie l'a compris de tout temps. Les grandes familles qui jouaient autrefois le rôle de gouvernants ont donné le premier exemple. Le gouvernement a continué. Il a largement développé leur œuvre.

Pour les huit provinces du Piémont et de la Lombardie, dont la superficie totale est moindre que celle de six départements français, les canaux et leur dérivation donnent en tout un débit de plus de 800 mètres cubes par seconde. Ils arrosent plus de 1 100 000 hectares (1). Nous restons bien loin de compte en France.

(1) HÉRISSE, Rapport sur les irrigations de la vallée du Pô (*Annales de l'Institut national agronomique*, Paris, 1883).



Les principaux canaux d'irrigation sont, en France, ceux de la *Brillaune* (Basses-Alpes) ; de *Gap* et du *Pont-du-Fossé* (Hautes-Alpes) ; de la *Vesubie* et de la *Siagne* (Alpes-Maritimes) ; de *Cuxac-Lespigan* et de *Raonël* (Aude) ; de *Peyrolle*, de *Marseille*, de *Craponne*, des *Alpines* et du *Verdon* (Bouches-du-Rhône) ; de la *Bourne* (Drôme) ; de *Beaucaire* (Gard) ; de *Saint-Martory* (Haute-Garonne) ; du *Forez* (Loire) ; du *Lagoin* (Basses-Pyrénées) ; de *Las-Canals* (Pyrénées-Orientales) ; de *Pierrelatte*, de *Carpentras*, de *Saint-Julien* et de *Crillon* (Vaucluse).

Il y aurait un profit considérable à posséder davantage de grands canaux d'irrigation. Mais il faut avouer que les populations intéressées ne mettent pas beaucoup de zèle à profiter de la richesse qui est à leur portée. Vers 1893-1894, sur les 245 641 hectares qui représentaient en bloc la superficie arrosable par ces 22 canaux, 51 122 hectares seulement, soit à peu près 20 p. 100, étaient arrosés. Si les canaux de *Gap*, de *Carpentras* et de *Saint-Julien* arrosaient effectivement 2 454, 2 646 et 3 628 hectares pour des surfaces arrosables respectives de 4 000, 5 450 et 4 703 hectares, les canaux de *Craponne*, du *Verdon*, de *Saint-Martory*, du *Lagoin* n'arrosaient que 9 500, 2 180, 2 224 et 76 hectares, alors qu'ils pourraient porter la fertilité respectivement sur 40 000, 34 790, 32 344 et 5 000 hectares.

On est donc loin de tirer tout le parti qu'on pourrait attendre de ce réseau de canaux d'irrigation qui a coûté plus de 150 millions de francs. Pour quelles raisons? Le prix de vente de l'eau est souvent trop élevé. Puis les cultivateurs, insuffisamment instruits des bienfaits de l'arrosage, hésitent à faire les avances assez fortes que nécessite l'aménagement du sol en vue de l'irrigation, ou ils en sont incapables. L'aide pécuniaire fournie par le Crédit agricole et l'aide technique prêtée par l'État, inaugurée depuis quelques années, remédieront à cet état de choses.

La construction des canaux d'irrigation appartient à l'État, aux départements intéressés et aux grands syndicats.

Distribution de l'eau. Partiteurs. Modules. — La distribution de l'eau aux usagers se fait au moyen d'appareils



multiples, qui varient avec les différents pays et auxquels nous ne pouvons consacrer que quelques lignes. On les désigne sous le nom de PARTITEURS et MODULES. Les uns sont fixes ; ils opèrent des partages proportionnels suivant des règles immuables. Les autres sont mobiles ; ils permettent de faire varier à volonté la répartition.

Les partiteurs fixes les plus simples consistent en massifs de maçonnerie que l'on dispose verticalement dans une partie régulière du canal, à un endroit où la section est maçonnée ; ces petits murs sont terminés du côté de l'amont par un bec triangulaire ou arrondi. Un massif placé au milieu du lit divise le débit du canal en deux parties égales. Deux de ces massifs le fractionneraient en trois. Ils seraient alors disposés de telle sorte que leur écartement tint compte des remous et des contractions qui peuvent influencer sur le cours d'eau.

Les DÉVERSOIRS fournissent une quantité d'eau qui est fonction de la largeur de leur seuil. Le calcul permet de les diviser de telle sorte qu'ils partagent le débit dans des proportions qui soient indépendantes des variations d'épaisseur de la lame d'eau.

LES BARRAGES A AIGUILLES, employés en Espagne depuis le temps des Maures, peuvent diviser l'eau dans un rapport quelconque fixe ou variable. Il en est de même du *partiteur d'Elche* (Espagne) qui a pour organe principal une sorte de bec mobile qui tourne autour d'un axe vertical fixe, situé à l'extrémité d'amont d'un massif de maçonnerie semblable à celui que nous avons décrit tout à l'heure.

En Italie, depuis le xvi^e siècle, on se sert, pour obtenir des débits constants, d'appareils connus sous le nom de *modules*. Leur principe est le suivant : amener l'eau du canal dans un réservoir, où elle est maintenue à un niveau constant au-dessus d'un orifice de sortie de dimensions déterminées. Dès lors, l'eau s'écoule par cet orifice avec la même vitesse, et son débit ne varie pas.

Le réservoir communique avec le canal par une ouverture qui est fermée par une vanne. Cette vanne est manœuvrée de temps à autre par un employé, de telle sorte que le niveau de l'eau dans le réservoir reste le même, quelles que soient les



• variations du niveau de l'eau dans le canal. Les dimensions de l'appareil, celles de la bouche de sortie et, par conséquent, le débit, varient avec les provinces de la péninsule.

Dans le Milanais, l'*Ponce d'eau*, servant d'unité pour les irrigations, correspond à la quantité d'eau qui coule librement par une bouche rectangulaire ayant 0^m,20 de hauteur uniforme et 0^m,15 de largeur, sous une pression constante de 0^m,10 sur le bord supérieur de l'orifice.

Pour obtenir un débit de plusieurs onces, on augmente la largeur de l'orifice d'écoulement en maintenant la hauteur, mais, en réalité, on obtient ainsi un débit supérieur, puisqu'on supprime le frottement sur les côtés du rectangle qui forme l'orifice de sortie. C'est là le défaut du module italien.

En France, il existe un grand nombre de types divers d'appareils, qui ont pour but de diviser l'eau fournie par les canaux au prorata des dotations respectives.

Pour les canaux de la Bourne et de Pierrelatte, la partie principale des appareils de jaugeage et de dérivation est constituée par une vanne appelée *martellière*. Elle a été construite de telle sorte qu'elle permette d'obtenir un débit constant, quelles que soient les variations du niveau de l'eau dans le canal en amont ou en aval. Une fermeture de sûreté met le système à l'abri de la fraude.

Le module adopté au canal du Forez se compose d'une vanne en fonte inclinée suivant le talus du canal. Elle est manœuvrée à l'aide d'une vis mise en mouvement par des roues dentées placées dans une boîte fermée à clef.

Cette vanne ouvre ou ferme une buse qui conduit l'eau dans une cuve dite *cuve de jauge*. L'eau y perd sa vitesse et elle en sort vers la rigole par un *déversoir de jauge*. Ce déversoir, établi en mince paroi, est formé d'une plaque de tôle dans laquelle est découpée une ouverture de section constante. En faisant varier l'ouverture de la vanne jusqu'à l'affleurement de l'eau à une certaine hauteur au-dessus du déversoir, on obtient un débit déterminé. Des expériences préalables ont permis d'établir une table numérique de correspondance entre les hauteurs d'affleurement de l'eau sur la plaque de jauge et les débits. Il suffit donc au gardien du canal de manœu-

vrer la vanne à l'aide de la clef jusqu'à ce que l'épaisseur de la lame déversante, lue sur une réglette placée à l'intérieur de la cave de jauge, corresponde bien au débit de la rigole.

5. — Eaux de drainage.

Les eaux de drainage sont d'autant plus précieuses pour l'irrigation qu'elles contiennent, comme nous l'avons vu, des quantités notables d'acide nitrique et de chaux. Chaque fois que la disposition des lieux permet de les utiliser pour irriguer des terrains inférieurs, il ne faut pas négliger de le faire. On doit s'efforcer, quand cela est possible, de les réunir dans un réservoir pour les employer au temps de la sécheresse.

MACHINES ÉLEVATOIRES.

Lorsque l'eau est à un niveau inférieur à celui du terrain qu'il s'agit d'arroser, on emploie des machines élévatoires. Pour l'étude descriptive et l'emploi de ces machines, nous renvoyons le lecteur à l'ouvrage de M. Coupau, qui fait partie de cette *Encyclopédie* (1).

CHAPITRE IV

PRIX DE L'EAU.

Il y a lieu de distinguer entre le *prix de revient* de l'eau et son *prix de vente*.

Le *prix de revient* est excessivement variable. Il dépend évidemment des moyens que l'on emploie pour se procurer l'eau.

Les moteurs hydrauliques la fournissent à très bon marché. Malheureusement, il est très difficile de pouvoir compter sur

(1) COUPAU, ingénieur agronome, chef de travaux de génie rural à l'Institut national agronomique, *Machines agricoles* (J.-B. Baillière et fils. éditeurs).



la continuité de leur marche au moment où les irrigations sont le plus utiles, c'est-à-dire en été, à l'époque de l'étiage des cours d'eau. Durand-Claye cite dans son ouvrage plusieurs grandes usines hydrauliques, où le prix de revient du mètre cube d'eau élevé à 10 mètres varie entre 0 fr. 00104 (roue Girard) et 0 fr. 00352 (roue Sagebien).

D'après Charpentier de Cossigny, un cheval attaché à un manège développe 45 kilogrammètres par seconde. Il peut élever dans le même temps 8¹/₄ de l'eau d'un puits situé à 4 mètres de profondeur, à l'aide d'une noria utilisant les 0,75 du travail. Il peut donc fournir par journée de huit heures 240 mètres cubes. Si la journée du cheval vaut 3 fr. 50, le mètre cube d'eau reviendra de ce chef à 0 fr. 1458 et les 15 552 mètres cubes, regardés comme nécessaires dans le Midi, chaque année, pour une irrigation moyenne, reviendront à 226 fr. 76, sans compter ni l'amortissement des frais d'établissement du puits et de la noria, ni l'entretien de cette dernière.

Les machines à vapeur et les pompes que l'on destine à élever des eaux pour l'arrosage doivent être rustiques. On ne peut pas espérer, d'après Durand-Claye, qu'elles dépenseront beaucoup moins de 4 kilogrammes de charbon par cheval et par heure ; cela correspond à une dépense moyenne d'environ 0 fr. 10 pour l'élévation de 1 mètre cube à 10 mètres de hauteur.

En somme, on peut tabler dans les cas ordinaires, sans l'intérêt et l'amortissement des ouvrages, que l'on évalue à 10 p. 100 du capital engagé, sur une dépense moyenne de 0 fr. 10 pour 1 000 mètres cubes élevés à 1 mètre par moteurs hydrauliques, et de 0 fr. 30 et 1 franc dans les cas de l'emploi de moteurs à vapeur (Bechmann).

Le grand écart qui existe entre les prix de revient de l'eau élevée à l'aide des moteurs à vapeur tient aux circonstances très variables de leur emploi.

Voici les prix de revient de l'eau fournie par quelques canaux. Nous les empruntons aussi à l'*Hydraulique agricole* de Durand-Claye. Pour les établir, on a fait entrer en ligne de compte : les frais de construction du canal d'amenée et de la prise d'eau, l'intérêt et l'amortissement du capital, les frais d'entretien et les frais de gardiennage.



Ils se rapportent au débit continu de 1 litre par seconde.

Canal de Carpentras (Vaucluse)	58 fr. 33
— du Forez.....	53 fr. 33
— de Saint-Martory.....	40 fr. 00
— de la Bourne.....	85 fr. 70
— du Verdon.....	200 fr. 00
— Cavour (Italie).....	33 fr. 60

Les canaux français compris dans cette énumération n'ont qu'une portée de 6 à 10 mètres cubes par seconde, tandis que le canal Cavour en a une de 110 mètres cubes. On voit, d'après ces chiffres, quelle est l'énorme différence entre le prix de revient du canal italien et les prix de revient des canaux français. Les canaux à grande portée sont beaucoup plus avantageux parce que les frais généraux, les dépenses nécessitées par l'établissement des ouvrages d'art, correspondent à des débits bien plus considérables.

Le prix de vente de l'eau des canaux d'irrigation est très variable ; sur les canaux les plus anciens, la vente se fait généralement à la surface irriguée. Le plus souvent, le prix de l'eau avoisine 30 francs par hectare irrigué. Ce procédé de vente est très défectueux. Il encourage le gaspillage de l'eau et les fraudes. Puis le cube d'eau fourni est très mal défini.

La meilleure base de tarification est incontestablement l'unité de 1 litre par seconde. C'est celle qui est généralement adoptée sur les canaux modernes. L'eau est alors vendue au litre pendant la saison d'arrosage, lorsqu'il s'agit d'un arrosage discontinu ; ou bien au volume écoulé à la seconde pendant toute l'année. Il vaut mieux ne pas spécifier sur quelle étendue la quantité d'eau fournie sera répandue. Le cultivateur doit rester maître de son eau.

La concession d'eau périodique de 1 litre à la seconde, par exemple, donne droit de recevoir au total un volume d'eau de 15 552 mètres cubes pendant la durée de six mois que dure la saison d'arrosage ($15\,552^{\text{me}} = 86^{\text{me}},4 \times 180$).

Le prix du litre d'eau fourni dans ces conditions varie suivant les lieux. Pour le canal du Forez, il est de 40 francs pour un demi-litre d'eau par seconde pendant les six mois que dure la saison des irrigations. L'eau continue livrée pen-



dant toute l'année pour l'alimentation et les usages industriels coûte 160 francs le litre.

Le prix de vente du litre d'eau continue varie généralement, sur les canaux les plus récemment établis, entre 30 et 80 francs. Au canal du Verdon, le prix du litre d'eau est de 70 francs pour la commune d'Aix, de 60 francs pour les autres communes. Il atteint 80 francs pour les eaux continues. Au canal de Saint-Martory, le litre par seconde se paie 66 fr. 67, mais il y a une redevance maxima fixée à 50 francs par hectare.

L'eau n'est pas fournie, sauf clauses spéciales, d'une façon continue, mais périodiquement.

Ainsi, au canal du Forez, chaque abonné reçoit en une seule fois par semaine, et dans une même année, toujours le même jour et aux mêmes heures, la totalité du débit de la rigole qu'il dessert. Le débit de cette rigole et la durée de l'arrosage sont réglés de telle sorte que l'abonné reçoive en fin de compte le volume d'eau total qu'il a souscrit.

Les abonnements se contractent généralement pour un minimum d'années, dix ans, et ne peuvent dépasser trente ans. Les clauses et stipulations des contrats sont d'ailleurs très variables suivant les localités.

En raison des travaux d'appropriation coûteux du sol, qui varient de 300 à 500 francs à l'hectare, on doit admettre que le prix de l'eau en France devrait être en moyenne de 30 francs et qu'il ne saurait dépasser 50 francs.

MM. Müntz, Faure et Lainé, dans les études qu'ils ont faites sur la perméabilité des terres et les irrigations, insistent sur l'intérêt très grand que présente la *vente au volume de l'eau, sans spécification de l'emploi de ce volume sur une surface déterminée*; de cette façon, le cultivateur répand l'eau sur ses terres suivant leurs besoins.

CHAPITRE V

CANAUX ET RIGOLES D'IRRIGATION.

Quelle que soit la méthode d'irrigation que l'on ait choisie, sa mise en pratique nécessite le tracé d'un certain nombre de



canaux et de *rigoles*. Lorsqu'il s'agit de la méthode du ruissellement, les uns et les autres forment sur le champ arrosé un système circulatoire qui est comparable à celui de l'homme et des animaux. Les canaux et les rigoles d'arrosage représentent les artères et leurs dérivées. Elles portent l'eau chargée d'oxygène. Les rigoles de colature représentent les veines. Elles emportent au dehors l'eau désoxygénée et chargée de produits de la combustion organique. Nous allons définir ces canaux et ces rigoles et indiquer les principales considérations qui permettent de les construire.

Toute irrigation suppose une prise d'eau à un canal, à une

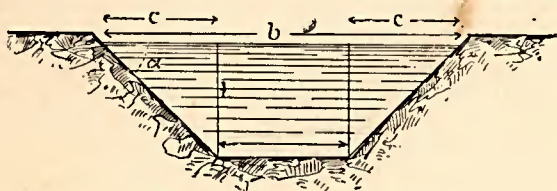


Fig. 31. — Section d'un canal.

rivière, à un ruisseau ou à un réservoir. L'eau est conduite jusqu'aux champs à irriguer à l'aide d'un *canal d'amenée* ou de *dérivation*. Suivant la distance à franchir, suivant les subdivisions du territoire arrosé, ce canal se subdivise en branches secondaire, tertiaire, etc. Quoi qu'il en soit, c'est sur lui ou sur ses embranchements que naissent et s'alimentent des fossés de moindres dimensions appelés *rigoles de distri-*



Fig. 32. — Section d'une rigole d'arrosage.

bution. Celles-ci portent l'eau à des *rigoles d'arrosage* qui la déversent directement sur le sol.

Tout arrosage doit être accompagné d'un assèchement parfait du terrain. Les eaux, après qu'elles ont ruisselé sur le sol, se rendent donc dans les *rigoles d'égouttage* ou de *colature*, et de là dans des fossés plus importants, et auxquels on donne le

nom de *canaux* ou de *rigoles d'évacuation*. Ils aboutissent à un *émissaire* qui emmène les eaux au loin. Lorsque la pente des terrains est suffisante, les rigoles d'arrosage, une fois vidées, constituent les rigoles de colature.

1. — Section des canaux et des rigoles.

Les canaux d'amenée, de distribution et les canaux d'évacuation des eaux affectent, suivant la section perpendiculaire à leur axe, la forme d'un trapèze isocèle BDFH (fig. 33). Les rigoles d'arrosage et de colature, de dimensions moindres,

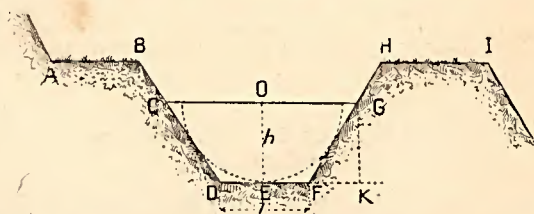


Fig. 33. — Section d'un canal d'irrigation ou d'assainissement.

sont rectangulaires (fig. 32). Elles n'ont que 5 à 15 centimètres de profondeur.

Un canal d'irrigation ou de dessèchement comprend plusieurs parties, qui sont dénommées et définies comme il suit. Elles sont indiquées sur le profil en travers représenté par la figure 33.

Le *plafond* est le fond parfaitement plan DF sur lequel l'eau coule.

Le *plan d'eau* est le plan supérieur CG formé par la surface libre de l'eau.

Le *tirant d'eau* est la hauteur $OE = h$ de l'eau au-dessus du plafond.

Les *banquettes* AB, HI, sont les bordures ordinairement basses, plates et bien dressées qui encaissent l'eau de chaque côté.

La *revanche des banquettes* s'entend de leur élévation au-dessus du plan d'eau.



Les talus sont formés par les faces latérales BD, FH des banquettes.

On appelle *périmètre mouillé*, P, la longueur du périmètre CD+DF+FG suivant lequel l'eau mouille les lignes d'intersection du canal par un plan perpendiculaire à son axe.

La *section utile* S du canal est la surface dont les bases sont représentées par CG, DF et la hauteur par OE=h. C'est, en d'autres termes, la surface du profil en travers du canal qui est limitée par le périmètre mouillé.

Le rayon moyen R est égal au quotient $\frac{S}{P}$.

La *pente des talus*, m, est déterminée par le rapport $\frac{GK}{FK}$ de la hauteur GK du talus à la projection FK du profil vertical FG du talus sur l'horizontale DF prolongée.

2. — Pente des talus des canaux et des rigoles principales.

Qu'il s'agisse de dessèchement ou d'irrigation, la pente des talus des canaux et des fossés dépend de la nature des terres.

Elle s'exprime par le rapport de la hauteur GK du talus à sa base FK (fig. 33). Ce rapport, que nous désignons par m, est-il égal à $\frac{1}{2}$, on dit que le talus est incliné à 1 de hauteur

pour 2 de base. Jusqu'à 0^m,15 de profondeur, les bords sont verticaux. Passé cette profondeur et pour des fossés creusés en déblai, ils prennent, suivant la nature du sol, les pentes indiquées ci-après :

Roche.....	$m = \frac{1}{0,00} = \infty$
Argile pure.....	$m = \frac{1}{0,33} = 3,03$
Terre argileuse.....	$m = \frac{1}{0,50} = 2,00$
Terre franche.....	$m = \frac{1}{1,00} = 1,00$
Terre sablonneuse.....	$m = \frac{1}{1,50} = 0,66$

Et pour les talus des fossés construits en remblai : *sterro*

Argile pure.....	$m' = \frac{1}{0,50} = 2,00$
Terre argileuse.....	$m' = \frac{1}{0,75} = 1,33$
Terre franche.....	$m' = \frac{1}{1,50} = 0,66$
Terre sablonneuse.....	$m' = \frac{1}{2,25} = 0,44$

Le rapport $\frac{GK}{FK}$ représente la valeur de la tangente trigonométrique de l'angle GFK formé par le talus avec l'horizontale. Pour le même terrain, si m est l'inclinaison du talus en déblai, l'inclinaison du talus en remblai m' est égale à :

$$\frac{1}{\frac{1}{m} + \frac{1}{2m}} = \frac{2}{3}m.$$

3. — Pente des canaux.

On ne doit pas s'écarter de certains principes généraux dans la détermination de la pente. Plus elle est accentuée, plus on peut réduire la section du canal de la rigole. On a donc avantage à donner la plus grande pente possible, puisqu'on diminue ainsi la section et, par conséquent, l'importance des travaux de terrassement. Mais, en outre, une forte pente diminue l'infiltration, parce qu'elle réduit la section et, par conséquent, la surface qui favorise les fuites. D'autre part, la vitesse de l'eau ne peut dépasser, pour chaque sol, une limite qui dépend de sa consistance. Au delà, elle occasionne des affouillements ou des érosions qui dégradent les parois du canal.

Le tableau suivant indique pour les différents terrains les vitesses qu'il convient de ne pas dépasser :

	Vitesse limite par seconde (au plafond).	Pente par kilomètre.
Argiles tendres.....	0m,452	0m,045
Sables.....	0m,305	0m,136
Graviers.....	0m,609	0m,433
Cailloux.....	0m,914	0m,570
Pierre en gros fragments....	1m,220	1m,509
Cailloux agglomérés.....	1m,520	2m,145
Roches tendres.....	1m,830	2m,786
— dures.....	3m,050	7m,342



Quand la pente des canaux dépasse ces limites, on interrompt de place en place leur parcours par de petites chutes. On garnit de pierres ou d'un radier en maçonnerie, en aval, le fond de la rigole, de manière à éviter les affouillements.

Il existe aussi une limite inférieure de la vitesse, au-dessous de laquelle il ne faut pas descendre, parce qu'il se produit des dépôts qui obstruent les rigoles.

Les dépôts commencent à se former au-dessous d'une vitesse moyenne de :

0 ^m ,25	par seconde pour des courants d'eau boueuse.
0 ^m ,30	— — — chargée de sable fin.
0 ^m ,50	— — — — de gros sable.

Par conséquent, la vitesse ne devra pas descendre au-dessous de 0^m,50 à 0^m,80 dans le canal principal et ses branches secondaires, afin que le gros sable ne se dépose pas et ne produise pas d'obstruction. Ces dépôts seraient d'autant plus gênants qu'on les enlèverait difficilement à cause de la permanence du débit.

Elle ne devra pas être inférieure à 0^m,25 ou 0^m,40 dans les canaux de distribution.

Elle entraînera vers les rigoles d'arrosage le limon fertilisant et laissera déposer dans les canaux de distribution le gros sable, qui ne pourrait être que nuisible s'il parvenait dans les rigoles d'arrosage. D'ailleurs, comme le débit des canaux de distribution est discontinu, il sera facile d'enlever de temps en temps ces dépôts et de s'en servir pour rectifier les parois des fossés, etc.

Enfin, dans les rigoles d'arrosage, la vitesse moyenne de l'eau devra se tenir entre 0^m,10 et 0^m,20, afin que, seul, le sable se dépose dans les rigoles, mais que le limon fertilisant soit entraîné par l'eau à la surface du pré.

Dans le calcul de la pente des canaux, dans la construction des rigoles d'arrosage, il faut tenir compte de ces considérations, qui ont leur importance.



4. — Canal d'amenée ou de dérivation.

La pente du canal d'amenée ou de dérivation dépend du niveau de la prise d'eau sur le canal principal, sur la rivière ou le ruisseau, et du niveau qu'occupe la partie la plus élevée du champ qu'il faut arroser. On a donc intérêt à ne pas donner au canal d'amenée une trop forte pente, de manière à pouvoir arroser la plus grande surface possible. Quand la pente du terrain que l'on cherche à irriguer est très faible, on surélève le plafond du canal d'amenée de 0^m,20 à 0^m,50. On l'établit alors en remblai, au risque de perdre beaucoup d'eau par infiltration.

Généralement, sa pente varie de 0^m,0007 à 0^m,0014 par mètre. La vitesse de l'eau n'y dépasse pas 0^m,80 par seconde. Sa section est trapézoïdale. Elle diminue au fur et à mesure que le canal avance dans son parcours et qu'il n'a plus ainsi à desservir qu'une surface moins grande. S'il a plus de 2 mètres de largeur, sa profondeur atteint au moins 1 mètre.

Les figures 34 et 35 (p. 237 et 238) représentent en plan une irrigation par rigoles de déversement horizontales : *ab* est le canal d'amenée.

Le canal d'amenée doit être disposé de telle façon que le niveau de l'eau, à son point de raccordement avec le canal ou la rivière, soit en contre-bas du seuil de l'ouvrage de prise d'eau, afin qu'on puisse établir, le cas échéant, un appareil de jaugeage. Mais son plafond doit être au-dessus de celui du canal alimentaire, afin d'éviter l'entraînement des dépôts. Il doit toujours être muni d'une vanne, de manière à empêcher l'accès de l'eau ou à le régler, soit qu'on veuille mettre à sec le canal pour effectuer des réparations, soit qu'il soit nécessaire de se garantir contre une crue du cours d'eau alimentaire.

Afin d'éviter les affouillements, on tapisse de plaques de gazon les parois latérales et le fond du canal.

Sur le canal d'amenée s'amorcent des canaux secondaires qui portent l'eau dans les différentes parties de la prairie. Ni le canal d'amenée ni ses dérivés ne doivent servir directement à l'arrosage.



Il faut éviter que le canal d'amenée ou ses branches secondaires traversent ou suivent les chemins, car ils gêneraient l'accès des champs et obligeraient à construire des ponceaux.

5. — Rigoles de distribution.

Elles s'embranchent sur le canal d'amenée et portent l'eau aux rigoles d'arrosage. Leur plafond doit être sensiblement au-dessous du niveau de l'eau dans le canal d'amenée. Elles sont ou presque horizontales, avec une pente de $0^m,001$ à $0^m,015$ par mètre, ou dirigées suivant le sens de la pente du terrain. C'est la direction qu'elles suivent dans l'irrigation par rigoles horizontales. La figure 34 (p. 237) indique leur position en *ef*. La vitesse de l'eau ne doit pas y être inférieure à $0^m,25$ ou $0^m,40$.

Lorsqu'elles sont dirigées suivant la pente naturelle du sol, il convient de les faire larges et peu profondes ; on leur donne la section trapézoïdale. L'importance de cette section dépend de la quantité d'eau que la rigole doit porter et de la pente. Quand la pente est très forte, il est indispensable de les tapisser de plaques de gazon, afin d'éviter les érosions provoquées par la vitesse de l'eau.

Elles sont mises en communication avec les rigoles de distribution à l'aide d'un tuyau de poterie, ou d'une caisse de forme rectangulaire construite avec des planches de bois. L'ouverture de cette communication peut être fermée avec une vanne ou un carré de gazon.

Nous indiquerons leur emplacement, leur longueur et leur espacement, en décrivant les différents systèmes d'irrigation.

6. — Rigoles d'arrosage.

Les rigoles d'arrosage, désignées par les lettres *r*, *r'*, *r''* sur la figure 34 (p. 237), reçoivent l'eau des rigoles de distribution et la déversent à la surface du sol.

Tantôt, comme dans l'exemple précédent (fig. 34), elles ne déversent l'eau que sur un seul bord, vers l'aval ; tantôt, dans le système des ados, elles déversent l'eau sur chacun de leurs bords.



Dans la méthode d'arrosage par rigoles de niveau, elles sont horizontales ou n'ont qu'une très faible pente, un demi-millimètre à 3 millimètres par mètre courant. Elles ont ordinairement un profil rectangulaire et mesurent 5 à 10 centimètres de profondeur. En général, elles doivent être aussi peu profondes que possible. On leur donne souvent un profil rectangulaire, qui est plus avantageux, parce qu'il laisse pousser l'herbe sur toute son emprise. Leur largeur peut atteindre 30 à 35 centimètres à leur point de jonction avec la rigole de distribution. Elle va en diminuant progressivement au fur et à mesure qu'elles s'écartent de cette rigole.

Dans la méthode d'arrosage par ados, les rigoles d'arrosage sont rectangulaires, leur profondeur doit se limiter à 0^m,05 à 0^m,08 au maximum, sauf rares exceptions.

Le plafond des rigoles est généralement horizontal ; leurs bords sont légèrement inclinés suivant l'écoulement de l'eau. Elles vont en se rétrécissant au fur et à mesure qu'elles s'écartent de la rigole de distribution.

7. — Rigoles de colature.

Les rigoles de colature recueillent l'eau après qu'elle a arrosé les terres et l'envoient dans les canaux d'évacuation. Elles sont doublement utiles. D'abord, elles amènent l'assèchement du sol, qui est indispensable ; puis, quand elles sont bien aménagées, elles permettent de remployer l'eau à l'irrigation de nouvelles surfaces.

Leurs bords sont taillés verticalement dans le sol et le sous-sol. Elles sont plus étroites et moins profondes à leur naissance qu'à leur débouché dans le canal d'évacuation. Leur largeur est ordinairement de 0^m,15 à 0^m,30. Elles sont représentées en *e*, *e'*, *e''* sur la figure 35 (p. 238).

Les rigoles de colature existent toujours dans les irrigations par ados ; elles sont placées de chaque côté de l'ados, en *o*, *o'* (fig. 47, p. 256). Mais elles ne sont pas toujours nécessaires dans les arrosages par rigoles horizontales. Les rigoles de distribution, placées dans les thalwegs, suffisent presque toujours à assécher le sol quand il est suffisamment incliné. On



provoque la vidange des rigoles horizontales en les réunissant à la rigole de distribution par la petite branche *c* dirigée suivant le sens de la pente (fig. 38, p. 242).

8. — Canaux d'évacuation ou de décharge.

Le canal d'évacuation reçoit les eaux de colature. Il les renvoie à la rivière, ou il les dirige vers de nouvelles surfaces à arroser. Il doit occuper la partie la plus basse du terrain. Le niveau de l'eau doit y être de 0^m,05 à 0^m,10 plus bas que celui du plafond des rigoles de colature qui y débouchent. Sa section doit être telle qu'il suffise à l'écoulement facile des eaux qu'il reçoit. Elle est de forme trapézoïdale. Ses parois sont recouvertes de gazons qui les protègent contre le ravinement. Si les gazons ne suffisent pas, on établit sur le fond des traverses en pierre ou en bois, ou bien même un pavage sur les parties les plus exposées.

Perte d'eau par évaporation et infiltration. — Il faut naturellement tenir compte de ces pertes dans la détermination de la section des canaux et rigoles, particulièrement pour le canal d'amenée. On peut les évaluer à 15 ou 17 p. 100 sous les climats septentrionaux et dans les terres de consistance moyenne.

9. — Calcul des dimensions des canaux et des rigoles principales.

Nous avons dit que les canaux et les rigoles importantes ont une section trapézoïdale ; la section des rigoles d'arrosage et de colature est triangulaire ou rectangulaire ; leur profondeur varie de 5 à 15 centimètres : leur largeur, de 25 à 40 centimètres. On ne les calcule pas. Mais il est nécessaire de déterminer aussi exactement que possible les dimensions des canaux les plus importants et celles des rigoles d'amenée et d'évacuation des eaux. Disons tout de suite que les procédés de calcul que l'on emploie ne conduisent qu'à des résultats approximatifs qu'il faut *corriger* la plupart du temps par l'expérience.

Cette question, très délicate, a fait en France l'objet des recherches de Prony, Dupuit, du Buat, de Saint-Venant, de Darcy et de MM. Bazin et Flamant. Elle est très bien exposée dans le *Traité d'hydraulique* de M. Flamant, inspecteur général des ponts et chaussées, qui nous a



guidés pour rédiger ce chapitre. La section d'un canal, son débit et sa pente, la vitesse de l'écoulement de l'eau sont des quantités liées entre elles par des équations relativement simples. Nous donnerons ici les formules de Darcy perfectionnées par M. Bazin. A l'étranger, en Amérique, en Allemagne et en Autriche, on emploie beaucoup la formule de Ganguillet et Kutter.

Soit CDFG (fig. 33, p. 213) la section transversale de la rigole ; désignons par $l=DF$ le *plafond* ; par $h=OE$ le *tirant d'eau* ; par S l'*aire* de la section ; par U la *vitesse moyenne* de l'eau (elle est égale à la vitesse moyenne à la surface multipliée par 0,80) ; par Q le *débit* de la rigole ; par I sa *pente*. Nous savons (p. 214) que le rayon moyen R est égal au quotient de la surface S de la section par le périmètre mouillé : $CD + DF + FG$:

$$R = \frac{S}{P}.$$

Ces différentes quantités sont liées entre elles par les relations suivantes :

$$(1) \quad RI = bU^2 \quad \text{ou} \quad U = C\sqrt{RI} \quad (2)$$

$$(3) \quad Q = SU \quad \text{ou} \quad Q = SC\sqrt{RI} \quad (4)$$

$C = \frac{1}{\sqrt{b}}$ est un coefficient qui varie avec la nature des parois ; il caractérise leur *rugosité*. On le détermine par l'expérience. M. Bazin en a donné la valeur suivante :

$$C = \frac{1}{\sqrt{b}} = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}},$$

où γ varie comme il est indiqué ci-après :

<i>Parois très unies</i> (ciment, bois raboté, etc.)....	$\gamma = 0,6$
<i>Parois unies</i> (planches, briques, pierres de taille, etc.).....	$\gamma = 0,16$
<i>Parois peu unies en maçonnerie de moellons</i>	$\gamma = 0,46$
<i>Parois de nature mixte</i> (sections en terre très régulières ou revêtues de perré).....	$\gamma = 0,85$
<i>Canaux en terre</i> , dans les conditions ordinaires.	$\gamma = 1,30$
<i>Canaux en terre</i> , présentant une résistance exceptionnelle.....	$\gamma = 1,75$

Nous donnons page 225, pour les diverses valeurs du rayon moyen R comprises entre 0^m,05 et 6 mètres, les valeurs du coefficient C et page 227 les valeurs du coefficient b de la formule (1) correspondant aux

valeurs du coefficient $C = \frac{1}{\sqrt{b}}$; ces valeurs de b sont utiles à connaître,

comme nous le verrons plus loin dans un exemple numérique.

MM. Ganguillet et Kutter ont adopté aussi la formule $U = C \sqrt{R}$ mais C prend alors la forme suivante :

$$C = \frac{23 + \frac{0,00155}{1} + \frac{1}{n}}{1 + \left(23 + \frac{0,00155}{1} \right) \frac{n}{\sqrt{R}}}$$

Le nombre n varie avec la nature des parois; il a les valeurs suivantes :

	n .	$\frac{1}{n}$.
Parois très unies, ciment, bois raboté.....	0,010	100
Parois unies, pierres taillées, briques.....	0,013	77
Parois peu unies, maçonnerie de moellons....	0,017	58
Parois rugueuses, moellons bruts.....	0,020	50
Parois en terre.....	0,025	40
Parois en gravier ou plantes aquatiques.....	0,030	33
Parois en gravier irrégulières et mal entretenues.	0,035	29
Parois très irrégulières.....	0,040	25

Nous ne pouvons reproduire ici intégralement ces tables, faute de place. Mais nous donnons page 229 les valeurs du coefficient C pour les parois qui nous intéressent le plus, les parois en terre, pour des rayons moyens compris entre 0^m,05 et 5 mètres et des pentes variant de 0,000025 à 0,01. La formule de M. Bazin et les tables qui en facilitent l'usage suffisent; pour atteindre plus de précision, on peut calculer à la fois les dimensions des canaux avec cette formule et avec celle de Ganguillet et Kutter, puis prendre la moyenne des résultats.

Mais les dimensions de la section des canaux doivent répondre encore à d'autres conditions que celles que déterminent ces formules. D'abord, comme nous l'avons vu, l'inclinaison des talus, la tangente trigonométrique m de l'angle GFK (fig. 33) que le talus GF fait avec l'horizontale FK est déterminée par la nature des terres.

Puis, si des circonstances particulières (perméabilité du sol qui limite la profondeur à cause des pertes d'eau possibles, facilité de curage, etc.) n'imposent pas le choix de la profondeur, il y a intérêt, étant données la pente i du canal et l'inclinaison m des talus, à donner à la section la forme qui correspond au *maximum du débit par unité d'aire de cette section*. C'est là, évidemment, la section la plus avantageuse, celle qui nécessite le moins de terrassements. La formule (3) $Q = SU$ montre que, pour une surface S donnée, le débit Q est maximum avec U , par conséquent, pour une pente donnée, avec R , ou encore, puisque

$R = \frac{S}{P}$, lorsque P est minimum.

Or l'inspection de la figure 33 montre facilement que l'on a :

$$(5) \quad S = h \left(l + \frac{h}{m} \right).$$

$$(6) \quad P = l + \frac{2}{m} h \sqrt{1+m^2},$$

$$(7) \quad R = \frac{S}{P} = \frac{h \left(l + \frac{h}{m} \right)}{l + \frac{2}{m} h \sqrt{1+m^2}}.$$

Et le calcul fait voir que P est minimum lorsque :

$$(8) \quad \frac{h}{l} = \frac{1 + \sqrt{1+m^2}}{2m}.$$

Les côtés BD, HF, DF sont alors tangents à une circonférence décrite du milieu O de la ligne d'eau CG avec le tirant d'eau h comme rayon.

En remplaçant dans (7) l par sa valeur (8), on a :

$$(9) \quad R = \frac{h}{2} = \frac{1 + \sqrt{1+m^2}}{m} \cdot \frac{l}{4}.$$

Le rayon moyen est égal à la moitié de la profondeur de l'eau. Le rapport $\frac{h}{l}$, déterminant la section optima, ne dépend donc, pour un canal de section S et de pente I données, que de la valeur de m ; voici les valeurs de $\frac{h}{l}$, calculées d'après les différentes valeurs de m correspondant aux différents sols.

$m = \frac{1}{0,00}$	$\frac{1}{0,33}$	$\frac{1}{0,50}$	$\frac{1}{0,75}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{1,50}$	$\frac{1}{2,25}$
$\frac{h}{l} = 0,50$	0,69	0,81	1	1,21	1,65	2,37

La valeur (8) de $\frac{h}{l}$ permet de calculer facilement h et l , connaissant la section S et m .

On a en effet :

$$(5) \quad S = h \left(l + \frac{h}{m} \right) = h^2 \frac{2\sqrt{1+m^2}-1}{m};$$

$$(6) \quad h = \sqrt{\frac{mS}{2\sqrt{1+m^2}-1}}.$$

On voit, d'après cela, que plus les talus du canal se rapprochent de la verticale, plus h , et, par conséquent, $R = \frac{h}{2}$, sont grands. Et il y a intérêt à adopter pour R la plus grande valeur possible, car on diminue

ainsi la largeur du canal de pente donnée I , et l'on augmente la vitesse moyenne de l'eau (proportionnelle à R).

Lorsque les circonstances exigent que l'on adopte pour h une valeur donnée, l'équation

$$S = h \left(l + \frac{h}{m} \right)$$

ne contient plus qu'une inconnue l à déterminer.

Emploi des formules, usage des tables de Bazin et de Ganguillet et Kutter; exemples numériques. — Voici les deux problèmes qui se présentent le plus souvent dans la pratique :

I. CONNAISSANT LA SECTION TRANSVERSALE D'UN CANAL ET SA PENTE, CALCULER SON DÉBIT ;

II. CONNAISSANT LE DÉBIT D'UN CANAL ET SA PENTE, CALCULER LES DIMENSIONS QUE DOIT AVOIR SA SECTION TRANSVERSALE ET LA VITESSE MOYENNE DE L'EAU.

1. On appliquera les formules (5) et (7), où m , l et h sont données :

$$(5) \quad S = h \left(l + \frac{h}{m} \right), \quad R = \frac{h \left(l + \frac{h}{m} \right)}{l + \frac{2h}{m} \sqrt{1 + m^2}}, \quad (7)$$

puis (2) et (4) :

$$(2) \quad R = C \sqrt{RI}, \quad Q = SC \sqrt{RI}. \quad (4)$$

La formule (7) donne R , et la table de M. Bazin (p. 225) la valeur de C qui correspondra à celle de R et à la nature des parois du canal. Les formules (2) et (4), où tous les éléments des seconds membres seront connus, permettront, immédiatement, de calculer U et Q .

Exemple : Calculer le débit d'un canal en terre, sachant que la largeur au plafond est de 1 mètre, la hauteur de l'eau 1^m,21, l'inclinaison des talus 45° et la pente 0,0002.

Les formules précédentes (5) et (7) donnent :

$$S = 2^m,867; \quad R = 0^m,60.$$

La valeur approchée de C pour $R=0^m,60$ et des parois en terre est, d'après la table de M. Bazin, 32,5, et, d'après celle de Ganguillet et Kutter, 35 (p. 229) ; nous adopterons la moyenne de ces deux nombres, soit 33,75.

Et nous aurons :

$$Q = 2,67 \times 33,75 \times \sqrt{0,60 \times 0,0002}.$$

$$Q = 0^m,98.$$

La vitesse moyenne U sera :

$$U = C \sqrt{RI} = 33,75 \times \sqrt{0,60 \times 0,0002}.$$

$$U = 0^m,37.$$

Valeurs du coefficient C de la formule $U = C\sqrt{RI}$,
d'après M. BAZIN.

Calculées d'après la formule $U = \frac{87\sqrt{RI}}{1 + \frac{\gamma}{R}}$.

RAYONS MOYENS R	VALEURS DE $C = \frac{U}{\sqrt{RI}}$.		RAYONS MOYENS R	VALEURS DE $C = \frac{U}{\sqrt{RI}}$.	
	Canaux en terre dans des conditions ordinaires. $\gamma = 1,30$.	Canaux en terre présentant une résistance exceptionnelle (fonds de galets, parois herbées, etc.) $\gamma = 1,75$.		Canaux en terre dans des conditions ordinaires. $\gamma = 1,30$.	Canaux en terre présentant une résistance exceptionnelle (fonds de galets, parois herbées, etc.) $\gamma = 1,75$.
m.			m.		
0,05	12,8	9,9	0,45	29,6	24,1
0,06	13,8	10,7	0,46	29,8	24,3
0,07	14,7	11,4	0,47	30,0	24,5
0,08	15,5	12,1	0,48	30,2	24,7
0,09	16,3	12,7	0,49	30,4	24,8
0,10	17,0	13,3	0,50	30,6	25,0
0,11	17,7	13,9	0,55	31,6	25,9
0,12	18,3	14,4	0,60	32,5	26,7
0,13	18,9	14,9	0,65	33,3	27,4
0,14	19,4	15,3	0,70	34,1	28,1
0,15	19,9	15,8	0,75	34,8	28,8
0,16	20,4	16,2	0,80	35,5	29,4
0,17	20,9	16,6	0,85	36,1	30,0
0,18	21,4	17,0	0,90	36,7	30,6
0,19	21,8	17,3	0,95	37,3	31,1
0,20	22,3	17,7	1,00	37,8	31,6
0,21	22,7	18,1	1,10	38,8	32,6
0,22	23,1	18,4	1,20	39,7	33,5
0,23	23,4	18,7	1,30	40,6	34,3
0,24	23,8	19,0	1,40	41,4	35,1
0,25	24,2	19,3	1,50	42,2	35,8
0,26	24,5	19,6	1,60	42,9	36,5
0,27	24,8	19,9	1,70	43,6	37,1
0,28	25,2	20,2	1,80	44,2	37,7
0,29	25,5	20,5	1,90	44,8	38,3
0,30	25,8	20,7	2,00	45,3	38,9
0,31	26,1	21,0	2,20	46,4	39,9
0,32	26,4	21,2	2,40	47,3	40,8
0,33	26,7	21,5	2,60	48,1	41,7
0,34	26,9	21,7	2,80	48,9	42,5
0,35	27,2	22,0	3,00	49,7	43,3
0,36	27,5	22,2	3,20	50,4	44,0
0,37	27,7	22,4	3,40	51,0	44,6
0,38	28,0	22,7	3,60	51,6	45,2
0,39	28,2	22,9	3,80	52,2	45,8
0,40	28,5	23,1	4,00	52,7	46,4
0,41	28,7	23,3	4,50	53,9	47,6
0,42	28,9	23,5	5,00	55,0	48,8
0,43	29,2	23,7	5,50	56,0	49,8
0,44	29,4	23,9	6,00	56,8	50,7



II Si des circonstances particulières n'imposent pas une profondeur déterminée, on appliquera les formules qui donnent à la section le profil optimum ; c'est-à-dire, ici :

$$(6) \quad h = 2R = \sqrt{\frac{mS}{2\sqrt{1+m^2}-1}}.$$

$$(1) \quad RI = bU^2 = b \frac{q^2}{S^2}, \quad \text{où} \quad b = \frac{1}{C^2}.$$

On commencera par adopter pour b une valeur provisoire. Et, pour la choisir, on évaluera, d'après le débit donné, la valeur possible de R et, par conséquent, celle de C grâce à la table de la page 225. La table de la page 227 donnera une valeur correspondante que l'on adoptera provisoirement pour b . Une fois la valeur de R trouvée, on rectifiera celle de b grâce aux tables. On calculera de nouveau R . Et l'on continuera ces approximations jusqu'à ce qu'on trouve pour C et b des valeurs qui ne diffèrent pas sensiblement des précédentes. L'équation (1) contiendra R à la cinquième puissance. On la résoudra donc par logarithmes.

Exemple : *Un canal doit débiter 2 mètres cubes d'eau par seconde avec une pente de 0,0002 par mètre. Quel doit être son profil transversal dans la terre avec des talus inclinés à 45°?*

Admettons $R=1$ mètre ; alors, d'après les tables de Bazin, la valeur de C est 37,8 et, d'après celle de Ganguillet et Kutter, elle est de 40 ; prenons le chiffre moyen : 38,9 ; il en résulte que $b=0,00066$ (p. 227), valeur que nous adopterons provisoirement.

La formule (6) donne, puisque $R = \frac{h}{2}$:

$$4R^2 = \frac{mS}{2\sqrt{1+m^2}-1} = \frac{m}{2\sqrt{1+m^2}-1}.$$

Or, ici, $m=1$; donc $\frac{m}{2\sqrt{1+m^2}-1} = 0,547$; et l'on peut écrire :

$$4R^2 = 0,547 \cdot S, \quad \text{d'où} \quad S = \frac{4R^2}{0,547}.$$

D'autre part, l'équation (1) donne, en adoptant pour b la valeur 0,00066 :

$$R \times 0,0002 = 0,00066 \times \frac{4}{S^2},$$

d'où

$$RS^2 = \frac{0,00066 \times 4}{0,0002} = 13,2,$$

Valeurs du coefficient b correspondant aux valeurs

$$\text{du coefficient } C = \frac{1}{\sqrt{b}}.$$

C.	b.	C.	b.
15	0,0044	54	0,00034
16	0,0039	55	0,00033
17	0,0035	56	0,00032
18	0,0031	57	0,00031
19	0,0028	58	0,00030
20	0,0025	59	0,00029
21	0,0023	60	0,00028
22	0,0021	61	0,00027
23	0,0019	62	0,00026
24	0,0017	63	0,00025
25	0,00160	64	0,00024
26	0,00148	65	0,000240
27	0,00137	66	0,000230
28	0,00128	67	0,000223
29	0,00119	68	0,000216
30	0,00111	70	0,000204
31	0,00104	72	0,000193
32	0,00098	74	0,000182
33	0,00092	76	0,000172
34	0,00086	78	0,000163
35	0,00081	80	0,000156
36	0,00077	82	0,000149
37	0,00073	84	0,000142
38	0,00069	86	0,000135
39	0,00066	88	0,000129
40	0,00062	90	0,000123
41	0,00059	92	0,000118
42	0,00057	94	0,000113
43	0,00054	96	0,000108
44	0,00051	98	0,000104
45	0,00049	100	0,000100
46	0,00047	105	0,000091
47	0,00045	110	0,000083
48	0,00043	115	0,000075
49	0,00042	120	0,000069
50	0,00040	125	0,000064
51	0,00039	130	0,000059
52	0,00037	140	0,000051
53	0,00036	150	0,000044

et en remplaçant S par sa valeur précédemment établie :

$$\frac{16 R^5}{0,547^2} = 13,2,$$

d'où

$$R = 0^m,75.$$

D'après les tables de Bazin et de Ganguillet et Kutter, les valeurs respectives de C qui correspondent à ce rayon moyen sont de 34,8 et de 37, soit de 35,9. La valeur correspondante de b (p. 227) est 0,00077. Remplaçons b par ce nouveau chiffre, nous aurons :

$$4 R^2 = 0,547 S, \quad R \cdot 0,0002 = 0,00077 \times \frac{4}{S^2}.$$

d'où

$$R = 0,76.$$

Les valeurs de C et de b ne diffèrent pas sensiblement de celles que nous venons d'adopter. Nous prendrons donc pour R la valeur $0^m,76$; alors $h = 2R = 1^m,52$.

$$S = \frac{4 \times 0^m,76^2}{0,547} = 4^m,22,$$

$$U = \frac{Q}{S} = \frac{2}{4,22} = 0^m,47.$$

La formule (8) $\frac{h}{l} = \frac{1 + \sqrt{1 + m^2}}{2m}$ permet de déterminer la largeur au plafond l ; on a en effet :

$$l = \frac{2mh}{1 + \sqrt{1 + m^2}} = \frac{2 \times 1,52}{1 + 1,414} = 2^m,15,$$

et le problème est entièrement résolu.

Mais il peut arriver que, par suite de circonstances particulières, on ne puisse adopter le profil le plus économique. Alors la profondeur h ou la largeur au plafond l est déterminée et la connaissance de h ou de l jointe aux équations :

$$S = h \left(l + \frac{h}{m} \right),$$

$$RI = b \frac{Q^2}{S^2}.$$

où R sera exprimé en fonction de h et de l permettra de trouver, par tâtonnements, h ou l et S . Supposons que, à cause de la présence d'un sous-sol rocheux, la profondeur du canal ne doive pas dépasser 1 mètre, que le débit soit de 2 mètres cubes à la seconde et la pente 0,0002 ; voici comment on procédera.

Valeurs du coefficient C de la formule $U = C\sqrt{RI}$
 pour des parois en terre de rayons moyens compris entre 0^m,05 et
 3 mètres et des pentes variant de 0,000 025 à 0,01,
 d'après GANGUILLET et KUTTER.

	RAYON MOYEN.	PENTES I =						
		0,000 025	0,000 05	0,000 1	0,000 2	0,000 4	0,001 0	0,010 0
Parois en terre $n = 0,025$.	0 ^m ,05	42	43	45	46	47	48	48
	0 ^m ,10	47	48	49	20	21	22	22
	0 ^m ,20	22	23	24	25	26	27	27
	0 ^m ,30	26	28	29	30	30	31	31
	0 ^m ,50	31	32	33	34	34	35	35
	1 ^m ,00	40	40	40	40	40	40	40
	2 ^m ,00	50	48	47	46	45	45	45
	3 ^m ,00	56	53	51	49	48	48	47
	0 ^m ,05	40	41	42	43	43	44	44
	0 ^m ,10	43	44	45	46	47	48	48
Parois en graviers $n = 0,030$.	0 ^m ,20	18	19	19	20	21	22	22
	0 ^m ,30	21	22	23	24	24	25	25
	0 ^m ,50	25	26	27	27	28	29	29
	1 ^m ,00	33	33	33	33	33	33	33
	2 ^m ,00	42	41	40	40	39	38	38
	3 ^m ,00	48	45	43	42	42	41	41
	5 ^m ,00	56	51	47	45	44	43	43
	15 ^m ,00	72	62	55	52	51	49	48

Puisque h est au plus égal à 1 mètre, le rayon moyen R peut être approximativement évalué à 0^m,50. Les tables de Bazin et de Ganguillet donnent respectivement pour C : 30,6 et 34. Nous prendrons la moyenne de ces deux nombres, soit 32, et alors $b = 0,00098$ (p. 227).

De l'équation $RI = b \frac{Q^2}{S^2}$ nous tirons :

$$S^2 = \frac{0,00098 \times 4}{0,50 \times 0,0002} = 39^{\text{m}},2,$$

d'où $S = 6^{\text{m}},25$.

La formule $S = h \left(l + \frac{h}{m} \right)$ donne $l = 5^{\text{m}},25$.

Le périmètre mouillé $P = 5^{\text{m}},25 + 2\sqrt{2} = 8^{\text{m}},07$.

$$R = \frac{S}{P} = \frac{6^{\text{m}},25}{8^{\text{m}},07} = 0^{\text{m}},77.$$



On partira de cette nouvelle valeur de R pour calculer une troisième approximation.

La table de Bazin donne pour $R=0^m,77$, $C=35$; celle de Ganguillet, $C=37$; prenons la moyenne $C=36$; alors $b=0,00077$. Et nous avons :

$$S^2 = \frac{0,00077 \times 4}{0,77 \times 0,0002} = 40^{mc},$$

$$S = 6^{mc},32,$$

$$\text{et } l = 5,32 \quad P = 5,32 + 2\sqrt{2} = 8,14, \quad R = \frac{6,32}{8,14} = 0,77.$$

Cette valeur de R est égale à la précédente. Nous nous en tiendrons là. Sinon, nous eussions cherché les nouvelles valeurs de C et de b , et nous fussions arrivés à une quatrième approximation.

Nous adopterons donc définitivement pour le profil de ce canal qui débite 2 mètres cubes :

$$l = 5,32, \quad h = 1^m, \quad R = 0,77.$$

La vitesse moyenne de l'eau sera, par suite :

$$U = \frac{Q}{S} = \frac{2}{6,32} = 0^m,31.$$

CHAPITRE VI

TECHNIQUE DE L'IRRIGATION.

I. — SYSTÈMES ET MÉTHODES D'IRRIGATION.

Il y a un grand nombre de procédés d'irrigation. Les uns ou les autres sont commandés soit par la nature du sol, sa pente, les cultures, soit par les quantités d'eau dont on dispose. Ils peuvent se rattacher à cinq grandes divisions, qui constituent chacune un *système*; quelques-uns de ces systèmes comprennent des subdivisions, qui correspondent à des *méthodes distinctes* :

I. Irrigation par déversement ou ruissellement. — L'eau ruisselle en lame mince, plus ou moins vite, à la surface du sol.

II. Irrigation par submersion. — L'eau est maintenue à sa surface sous une épaisseur plus ou moins grande. Elle

reste en repos ou n'est animée que d'un mouvement très lent.

III. Irrigation par infiltration. — L'eau remplit plus ou moins des canaux régulièrement espacés, qui divisent le champ en longues bandes parallèles. Elle pénètre *par infiltration* dans le sol à travers les parois de ces canaux.

IV. Irrigation avec association du drainage.

V. Irrigation par aspersion. — L'eau est répandue à la surface du sol sous forme de pluie à l'aide d'arrosoirs, de lances ou de tonneaux. C'est l'*arrosage* proprement dit, système qui dépense le moins d'eau, mais qui nécessite le plus de main-d'œuvre. Nous nous bornons à le mentionner.

I. Le premier système ou **irrigation par déversement** comprend les subdivisions ou méthodes suivantes :

1^o IRRIGATION PAR RIGOLLES HORIZONTALES :

a. *naturelle* ; b. *artificielle* ou par *plans inclinés* ; soit en *étages artificiels*, soit en *étages naturels* ;

2^o IRRIGATION PAR RIGOLLES OBLIQUES AUX COURBES HORIZONTALES DU TERRAIN ou méthode provençale des CALANTS ;

3^o IRRIGATION PAR ÉPIS OU RAZES :

4^o IRRIGATION PAR ADOS { a. *naturels* ;
b. *artificiels* ou *ordinaires* ;
c. en *étages* ou *gradins*.

II. Le système d'**irrigation par submersion** comprend :

1^o La SUBMERSION NATURELLE ;

2^o La SUBMERSION ARTIFICIELLE { a. *simple* ;
b. avec *renouvellement de l'eau*.

III. Et le système d'**irrigation par infiltration** se subdivise en deux méthodes :

1^o INFILTRATION DE L'EAU DANS LE SOUS-SOL PAR DES RIGOLLES PROFONDES ET OUVERTES ;

2^o INFILTRATION DE L'EAU DANS LE SOL PAR DES RIGOLLES SUPERFICIELLES ET OUVERTES.

IV. Enfin le cinquième système, d'ailleurs rarement employé, qui **associe le drainage à l'irrigation**, est souvent aussi désigné sous le nom de son inventeur : **Petersen**.

Indépendamment des procédés spéciaux qu'ils emploient,



le *ruissellement* et la *submersion* peuvent revêtir deux formes particulières.

1° L'IRRIGATION NATURELLE. — C'est la forme la plus simple, la plus économique. On doit chercher à l'employer chaque fois que c'est possible. Elle s'applique aux terrains dont la surface et la pente sont telles qu'elles permettent un arrosage régulier, soit immédiatement après l'établissement des rigoles, soit après de très faibles travaux de terrassement. Les dépôts laissés par les eaux en s'écoulant, le produit des curages des fossés, donnent peu à peu au terrain la forme régulière qui convient le mieux à l'irrigation. Ici la nature collabore avec l'ingénieur et lui évite les gros travaux.

2° L'IRRIGATION ARTIFICIELLE s'applique aux prairies dont la surface est irrégulière, et dont la pente est insuffisante pour permettre un arrosage régulier. Elle est précédée de travaux de terrassement assez importants qui ont pour but d'aplanir le sol et de créer des pentes artificielles. Parfois le terrain sera disposé en plans inclinés simples. Parfois ceux-ci seront accolés de manière à former des toits de faible largeur appelés ados. Telles ont été construites les prairies appelées *marcites* de la Lombardie, celles du pays de Siegen et de Luneburg en Allemagne, les prairies de la Campine belge. Ce genre d'irrigation a donné la plupart du temps de bons résultats.

Mais il nécessite trop souvent des dépenses élevées. L'hectare de prairie irriguée est revenu parfois à plus de 1 200 francs, rien qu'en travaux de terrassement. Il n'y a d'intérêt à l'employer que lorsque : 1° on possède assez d'eau pour faire des arrosages intensifs ; 2° l'assèchement du sol, consécutif à l'irrigation, est assuré.

3° On est sûr d'en retirer un profit suffisant.

4° Enfin nous appellerons IRRIGATION RATIONNELLE l'irrigation préconisée par Vincent dès 1833, celle qui, sans idées préconçues, s'approprie aux conditions naturelles. La pente et la forme du sol, son degré de perméabilité, la quantité d'eau disponible, la nature des cultures, voilà les principaux facteurs qui interviennent dans le choix, toujours très délicat, d'un système et d'une méthode d'arrosage.

La considération de la pente naturelle du sol est très impor-

tante à cet égard, mais celle de sa *perméabilité* n'a pas un intérêt moindre. La *dose d'arrosage* joue aussi un rôle très grand. Ces facteurs peuvent très sensiblement modifier les limites que marque le seul examen de la pente. Nous allons essayer de tracer ces limites, en avertissant le lecteur que nos chiffres n'ont rien d'absolu et qu'en cette occurrence il faut se garder de généraliser.

L'irrigation par submersion ne convient qu'aux terrains qui ont moins de 2 p. 1000 de pente et qui sont suffisamment perméables, lorsqu'il s'agit des fortes quantités d'eau d'arrosage, usitées dans les pays du Nord, répandues sur de grandes surfaces.

Dans le Midi, l'eau est rare, on en donne moins, et en réduisant les surfaces submergées, on peut appliquer la submersion aux terrains qui ont jusqu'à 1 à 2 p. 100 de pente.

L'irrigation par déversement ou ruissellement, grâce à ses diverses méthodes, peut s'appliquer aux terrains plats jusqu'à ceux ayant des pentes de 20 à 30 p. 100.

C'est ainsi que les CALANTS s'emploient depuis la pente de 1 p. 1 000 jusqu'à celle de 2 p. 100, les faibles pentes supposant une dose d'arrosage suffisamment forte et un terrain suffisamment imperméable, sans cependant dépasser certaine limite; les ÉPIS ou RAZES entre 2 p. 1 000 et 6 p. 100 avec les mêmes restrictions.

Les RIGOLLES HORIZONTALES s'appliquent aux terrains qui ont depuis 3 jusqu'à 10 p. 100 de pente et au delà, mais alors avec des précautions particulières.

Au-dessous de 3 p. 100, s'il s'agit d'un sol imperméable, surtout, ou même d'un sol perméable que l'on veuille irriguer énergiquement, il faut s'adresser aux PLANS INCLINÉS ou aux ADOS, à la condition d'avoir un assez grand volume d'eau disponible.

L'irrigation rationnelle ne suppose pas seulement l'appropriation parfaite du système d'irrigation à la forme du terrain. Elle veut encore que l'on apporte au sol les engrais qui sont nécessaires à sa production. Si l'eau est assez abondante et assez riche en matières fertilisantes, c'est elle qui donne aux terres irriguées les engrais dont elles ont besoin. On la distribue alors en tenant compte de sa teneur et de l'étendue de la



surface arrosée. Si elle ne peut seule fournir aux récoltes les matériaux qu'elles exigent, on complète son action fertilisante grâce à l'emploi des engrais chimiques.

II. — IRRIGATION DES TERRES LABOURABLES ET DES CULTURES MARAÎCHÈRES.

Nous ne pouvons nous occuper en détail ici, faute de place, des cultures arrosées du midi de la France, de l'Italie, de l'Espagne et de l'Afrique. Nous ne pouvons davantage traiter de l'arrosage des jardins et des cultures maraîchères (1). Nous croyons devoir consacrer à l'irrigation des prairies l'espace limité dont nous disposons.

Les méthodes d'irrigation qui sont applicables aux terres labourables comprennent :

L'arrosage par déversement à l'aide de rigoles horizontales ;

L'arrosage à l'aide de rigoles transversales, où méthode des calants ;

L'arrosage par submersion ;

L'arrosage à la raie ou par infiltration.

Nous retrouverons les trois premières à propos de l'irrigation des prairies. Et ce que nous en dirons alors permettra de les appliquer, le cas échéant, aux diverses cultures.

L'irrigation par infiltration ou à la raie convient particulièrement aux cultures labourées et maraîchères auxquelles peut aussi s'appliquer la méthode d'arrosage à l'aide des rigoles horizontales.

Dans le midi de la France, c'est surtout à la méthode dite des calants que l'on recourt pour l'arrosage des plantes de grande culture.

III. — IRRIGATION DES PRAIRIES.

Les méthodes que l'on peut employer pour arroser les prairies appartiennent, comme nous l'avons dit déjà, à deux

(1) Voy. le volume que M. LÉON BUSSARD a consacré, dans cette *ENCYCLOPÉDIE*, aux *Cultures potagères et maraîchères*.



types distincts : la *submersion* et le *ruissellement*. Nous signalerons en passant le procédé qui se rapproche du premier et qui consiste à refouler dans les canaux de dessèchement les eaux qui égouttent des prairies à sol suffisamment perméable. Nous dirons quelques mots de l'inondation des prairies riveraines des cours d'eau sujets à des crues. Nous nous étendrons, avec les détails qu'il mérite, sur le ruissellement qui constitue l'irrigation proprement dite et qui est le type d'arrosage le plus employé. On lui reconnaît les deux formes distinctes que nous avons déjà signalées :

La forme *naturelle*, lorsque la nature aide suffisamment à l'installation de l'arrosage. La configuration et la pente du terrain sont telles qu'il suffit de faire quelques travaux d'appropriation et de tracer les rigoles de conduite des eaux pour réaliser l'irrigation.

L'*irrigation artificielle*, au contraire, remanie le sol. Elle efface les *saillies*, comble les *creux*, régularise les pentes ou en crée. Elle donne au terrain les formes qui conviennent le mieux au ruissellement, au prix de terrassements souvent importants et coûteux.

Enfin l'*irrigation rationnelle*, comme Vincent l'a appelée, vise au produit net. Elle s'efforce d'arroser les prés par l'emploi des moyens les plus simples et les plus économiques possibles. Elle pose cette règle, comme base fondamentale de l'art des irrigations, qu'il faut s'efforcer d'appliquer la méthode qui convient le mieux aux circonstances : pente du sol, quantité et qualité des eaux, et éviter autant que possible les transports de terre, en adaptant le plan de l'irrigation au relief naturel du sol. Elle applique donc d'abord la méthode qui correspond le plus exactement à la nature des choses, quitte à modifier peu à peu le terrain. Et nous verrons qu'elle y arrive en employant à des remblais les terres que fournissent les curages des canaux et des rigoles et en sachant utiliser les transformations partielles qui s'accomplissent chaque année.

L'irrigation rationnelle établit en principe qu'il n'y a pas de système d'irrigation applicable *a priori*, mais qu'à chaque circonstance particulière doit correspondre un aménagement



particulier du terrain et des eaux, qui se rapproche plus ou moins des différentes méthodes d'arrosage que nous allons décrire.

IV. — DESCRIPTION DES DIFFÉRENTES MÉTHODES D'IRRIGATION.

1. — Irrigation par déversement ou ruissellement.

Ce système d'irrigation intéresse non seulement les hautes régions et en particulier celles du centre et du nord de l'Europe, mais encore il s'applique presque exclusivement aux récoltes fourragères, c'est-à-dire à un produit agricole que le mouvement économique actuel place au premier rang. En outre, c'est celui qui offre, grâce à ses méthodes diverses, le plus de souplesse par rapport à la pente du sol. On peut l'appliquer (Voy. p. 233) aux surfaces, depuis la pente de 1 p. 1 000 (calants, razes) jusqu'à celle de 10 p. 100 et davantage (rigoles horizontales). Le choix de l'une ou l'autre de ces méthodes dépendra :

1° Des pentes et de la nature du terrain (degré de perméabilité) ;

2° De la quantité et de la qualité de l'eau disponible.

1° Méthode d'irrigation par rigoles horizontales.

— Cette méthode est caractérisée par l'emploi de rigoles d'arrosage horizontales, parallèles aux courbes de niveau, ne laissant écouler l'eau que d'un seul bord. Elle ne s'applique qu'à des terrains ayant au moins 3 p. 100 de pente. A partir de cette limite inférieure, elle peut s'appliquer à des terrains inclinés jusqu'à 10 p. 100 et même davantage. On l'emploie en pays de montagne, sur des escarpements qui ont jusqu'à 50 p. 100 ; mais, bien entendu, il s'agit de terres recouvertes par une végétation serrée et soutenues artificiellement.

Il faut que le terrain présente une surface à peu près régulière, que l'on puisse facilement niveler les plus grosses inégalités.

A. *Irrigation naturelle.* — Elle s'applique aux terrains dont la pente et la surface sont assez régulières pour qu'il n'y ait pas lieu de faire des terrassements. Les remaniements du sol consistent simplement dans le nivellement de quelques



bosses et creux. Cette méthode présente tous les avantages réunis : bon marché de premier établissement et d'entretien ; économie et répartition égale de l'eau ; résultats assurés ; facilités pour procéder à la récolte. Elle consiste essentiellement à établir dans un terrain ayant au moins 2,5 p. 100 de pente des rigoles très sensiblement horizontales, tracées par conséquent suivant les lignes de niveau. Ces rigoles laissent déborder l'eau en couche uniforme, par leur bord inférieur, sur toute leur longueur.

La première rigole reçoit l'eau directement du canal d'ame-



Fig. 34. — Irrigation par rigoles horizontales (plan).

née ; la seconde ramasse l'eau qui a coulé sur la partie du pré qui est établie au-dessus d'elle et la laisse couler au-dessous ; la troisième remplit le même office, et ainsi de suite jusqu'à ce que l'eau, qui n'a pas été absorbée, se rende dans une dernière rigole qui sert de canal d'évacuation.

La figure 34 montre la disposition des divers petits canaux sur un terrain parfaitement plan, n'ayant qu'une seule pente indiquée par les flèches. Les rigoles horizontales sont alors sensiblement tracées en ligne droite.

La figure 35 montre l'application de la méthode sur un terrain légèrement vallonné. Les rigoles horizontales suivent alors les courbes qu'indique la figure et qui correspondent aux horizontales du terrain. Lorsque la pente du sol est suffisante, qu'elle atteint au moins 4 p. 100, les rigoles de distribution doivent être tracées de telle sorte qu'elles remplissent la



double fonction de pouvoir donner l'eau directement à telle rigole du niveau qu'on juge convenable et d'assainir promptement le pré ; mais, lorsque cette pente n'est pas assez forte pour permettre aux seules rigoles d'arrosage d'assurer l'assainissement parfait de la prairie, quand elle n'atteint pas 3 p. 100, on fait précéder les rigoles d'arrosage de petits canaux de colature représentés en e, e', e'' sur la figure 35. Ces

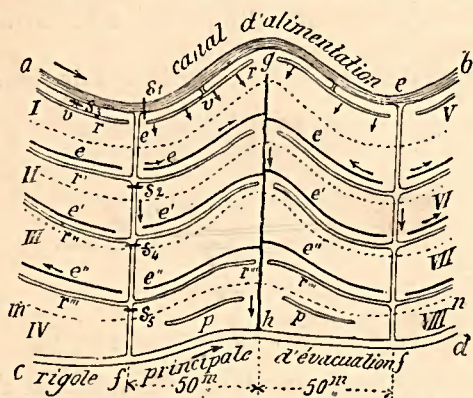


Fig. 35. — Irrigation par rigoles horizontales avec rigoles de colature sur un terrain vallonné (plan).

petits canaux se réunissent dans un fossé de section plus considérable, h , qui aboutit au canal principal d'évacuation.

La figure 36 montre le profil d'un terrain irrigué par rigoles horizontales ; les bourrelets h, h' séparent les rigoles de colature des rigoles d'arrosage.

Le canal d'alimentation ab (fig. 34 et 35) n'arrose jamais



Fig. 36. — Profil d'un terrain irrigué par rigoles horizontales.

directement la première planche du pré. Il alimente les rigoles d'arrosage r, r , à l'aide des petits canaux o, o . Quand les rigoles d'arrosage, en raison de la faible pente du sol, sont

placées à une grande distance les unes des autres, on place dans leurs intervalles des rigoles de reprises telles que ρ , ρ' , ρ'' (fig. 39, p. 243) qui aident au déversement régulier de l'eau.

Canal d'amenée de l'eau. — Nous renvoyons le lecteur à ce qui a été dit page 217.

Rigoles de distribution ou d'alimentation. — *Jonction avec le canal d'amenée.* — Au lieu de faire l'embranchement à angle droit, il convient de relier les rigoles de distribution au canal d'amenée par une légère courbe. L'eau y pénètre plus facilement. C'est une règle générale que l'on doit suivre aussi pour les rigoles d'ordre inférieur.

On empêche l'eau de pénétrer dans les rigoles de distribution, quand elles ne doivent pas fonctionner, à l'aide d'une *vanne à main* ou *pelle d'irrigation* telle que nous l'avons déjà décrite (fig. 28 et 29, p. 200 et 201). Pour le *profil* de ces rigoles, revoir le chapitre précédent. Les talus doivent être d'autant plus inclinés que la pente du sol est plus forte, sinon l'eau les dégrade. Elles mesurent 30 à 50 centimètres de largeur, 15 à 20 de profondeur.

Emplacement des rigoles de distribution. — Les rigoles de niveau ne peuvent guère porter l'eau à plus de 25 à 40 mètres à partir de leur point d'alimentation sur les rigoles de distribution. Celles-ci ne peuvent donc pas être espacées de plus de 50 à 80 mètres.

Sur la figure 35, les rigoles de distribution occupent les lignes de faite, les rigoles de colature, les *thalwegs* ; mais nous avons supposé que le terrain n'avait pas 3 p. 100 de pente et que les deux espèces de rigoles étaient nécessaires. La plupart du temps, la pente de la prairie sera suffisante pour que les *rigoles de distribution* puissent servir de *rigoles de colature*. Et on les disposera dans les *thalwegs*. Une fois l'arrosage terminé, elles recueilleront facilement les eaux qui s'écouleront à droite et à gauche de leur tracé. On devra les tracer d'abord dans les *thalwegs* de la prairie, quitte à placer dans les intervalles d'autres rigoles. On cherchera toujours à éloigner les unes et les autres des crêtes du terrain.

On commence d'ailleurs par tracer les rigolés horizontales qui indiquent la forme du terrain. Il faut s'efforcer de diriger



ensuite le tracé, le relief de distribution de telle sorte qu'elles coupent les rigoles d'arrosage, à angle droit.

Rigoles horizontales ou d'arrosage. — *Profil transversal.* — Il est rectangulaire. Ces rigoles sont taillées à pic dans le gazon, comme l'indique la figure 32 (p. 212). La section triangulaire vaut encore mieux ; il y a moins de place perdue, l'herbe pouvant occuper les deux faces du V. Leur largeur peut atteindre 30 à 35 centimètres au point de jonction avec la rigole d'alimentation. Quant à leur profondeur, elle doit être aussi faible que possible, 5 à 8 centimètres, 10 au plus, et cela pour plusieurs raisons. Des rigoles profondes absorbent trop d'eau. Elles en laissent perdre par infiltration. L'eau, sous une faible épaisseur, se réchauffe plus vite en courant au soleil.

La largeur des rigoles d'arrosage va en diminuant peu à peu depuis leur point de rencontre avec la rigole de distribution. Elles doivent en effet débiter de moins en moins d'eau à mesure qu'elles s'en éloignent.

Pour que le déversement soit régulier, il convient donc que leur section aille en diminuant. C'est d'ailleurs en faisant fonctionner l'irrigation que l'on reconnaîtra, en examinant comment s'opère le déversement de l'eau, si les rigoles d'arrosage doivent être élargies en quelque point.

Les rigoles de *reprise* *o, o* (fig. 39), qui n'ont pour objet que de faciliter la circulation de l'eau entre deux rigoles d'arrosage, conservent sur toute leur longueur la même section. Elles sont fermées à leurs extrémités.

Jonction des rigoles d'arrosage avec les rigoles de distribution. — Les rigoles d'arrosage doivent s'amorcer aux rigoles de distribution suivant une légère courbe (fig. 38), qui place leur origine pour ainsi dire dans le prolongement du canal alimentaire. De la sorte, les mottes de gazon *g* ou les petites vanes que l'on place dans la rigole distributrice, au-dessous du point de jonction, rempliront bien leur office. Sans barrer la rigole distributrice, elles forceront l'eau à refluer dans les rigoles d'arrosage.

Lorsque l'on peut se contenter de donner aux rigoles d'arrosage la direction horizontale, c'est une ingénieuse disposition



que celle qui consiste à les raccorder aussi aux rigoles de distribution par une petite branche *c* (fig. 38) dirigée en sens

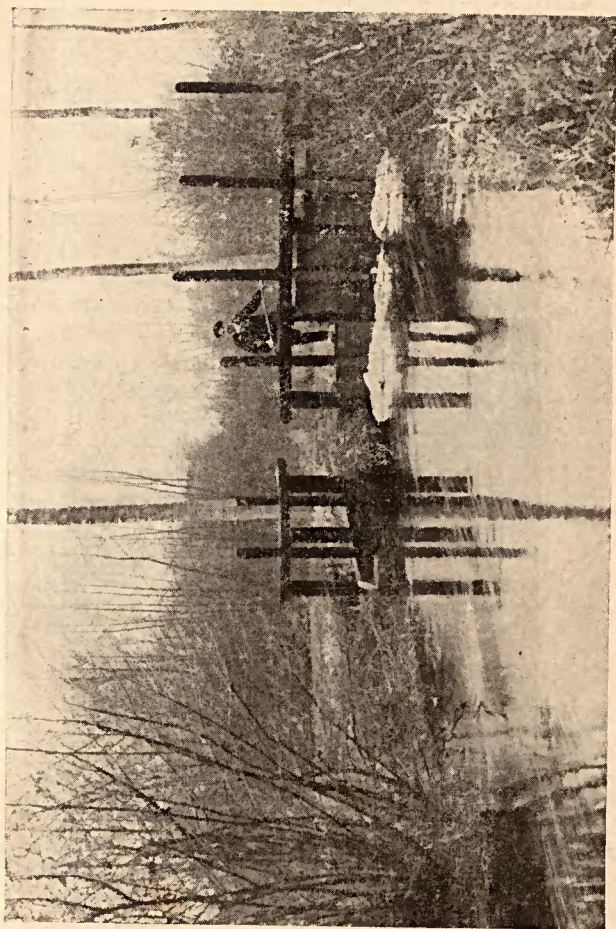


Fig. 37. — Barrages de dérivation. Exploitation de M. P. de Malliard. Un ouvrier a déjà abaissé l'une des grandes *vannes*. Lorsqu'il aura abaissé les trois autres, il lèvera les deux vannes de gauche pour jeter l'eau dans une prairie disposée en grands ados.

inverse de la précédente *b*, c'est-à-dire de l'amont vers l'aval. Ce petit canal est fermé pendant l'arrosage. Mais, une fois qu'il

est terminé, on l'ouvre et l'eau qui est encore contenue dans les rigoles d'arrosage trouve un écoulement facile vers la rigole de distribution, alors transformée en colateur.

Longueur et pente des rigoles d'arrosage. — Il est rare que des rigoles rigoureusement horizontales conduisent l'eau également bien jusqu'à leur extrémité. La plupart du

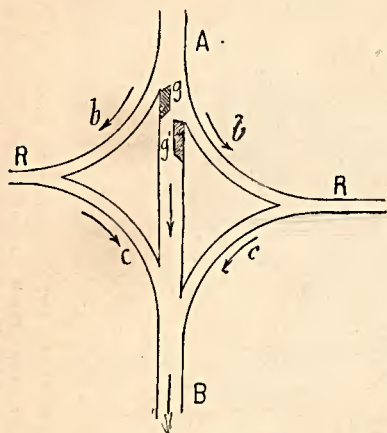


Fig. 38. — Embranchements des rigoles d'arrosage sur les rigoles de distribution.

temps, elles fournissent beaucoup plus d'eau à leur origine. On y remédie en les traçant obliquement à la plus grande pente du sol. On leur donne une pente légère de 0^{mm},5 à 3 millimètres par mètre. C'est en faisant fonctionner l'irrigation que l'on pourra du reste régler le mieux cette pente. D'ailleurs, on assurera la bonne répartition de l'eau en resserrant assez les rigoles de distribution pour que les rigoles d'arrosage ne dépassent pas

de chaque côté 25 à 40 mètres au plus.

ESPACEMENT DES RIGILES D'ARROSAGE ENTRE ELLES. — Il varie avec la pente et avec la nature du sol. Quand la pente est irrégulière, il faut rapprocher les rigiles d'arrosage, parfois jusqu'à 4 ou 5 mètres. Mais, lorsque la surface du terrain ne présente que de faibles dénivellations, on peut les espacer jusqu'à 20 ou 25 mètres. On se contente alors de disposer dans leur intervalle quelques rigiles de reprise, qui assurent l'égalité répartition de l'eau. On les multiplie dans les endroits accidentés.

Il arrive, à cause des dispositions du terrain, que les rigiles

de distribution coupent obliquement (fig. 39) les rigoles d'arrosage et qu'alors toute une zone avoisinant la rigole *ab* ne soit pas arrosée. On assure son irrigation en intercalant quelques rigoles de *reprise* telles que *o*, *o'*, *o''*; elles se terminent de chaque côté en cul-de-sac.

L'espacement des rigoles d'arrosage varie aussi avec la nature du sol. Plus il est perméable, plus elles doivent être rapprochées. En effet, il peut arriver, dans ce cas, qu'une

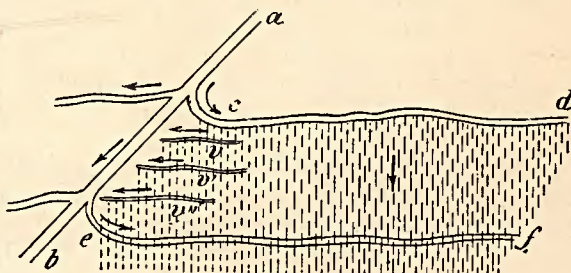


Fig. 39. — Rigoles complémentaires d'arrosage.

bande trop large absorbe dans sa partie supérieure toute l'eau que fournit la rigole et qu'ainsi le bas ne soit pas arrosé.

Il est donc impossible de donner des règles fixes pour déterminer la distance qui doit séparer les rigoles d'arrosage.

Rigoles de colature. — Les rigoles de colature telles que *e*, *e* (fig. 35, p. 238) côtoient les rigoles d'arrosage. Elles en sont éloignées de 0^m,50 à 1 mètre. Elles mesurent 15 à 25 centimètres de large sur 20 à 35 centimètres de profondeur. Leur profil est rectangulaire, et leur pente, dirigée en sens inverse de celui de la rigole d'arrosage voisine, peut aller jusqu'à 11 p. 100.

Canaux d'évacuation des eaux. — Leur profil est trapézoïdal, comme celui du canal d'amenée et des canaux d'alimentation. Leurs dimensions sont en rapport avec la masse d'eau qu'ils doivent enlever.

Manière de donner l'eau. — Si l'aiguadier veut d'abord arroser la bande désignée par le chiffre I sur la figure 35 (p. 238), il ferme la vanne *S*₁, située sur le canal d'alimen-

tation, en aval de la première rigole de distribution ef ; l'eau pénètre dans les rigoles d'arrosage r, r , se déverse sur le sol et gagne les rigoles r', r'' , d'où elle peut encore ruisseler sur la prairie, et ainsi de suite jusqu'à ce qu'elle atteigne la rigole de colature principale cd . Nous supposons ici, pour plus de simplicité, que les colateurs e, e, gh n'existent pas. Si l'eau peut ainsi arroser tout le pré, il suffira que l'aiguadier veille à ce qu'elle se répande uniformément. Il n'aura qu'à soigner les bords des rigoles.

Si l'eau ne peut arroser tout le terrain parce qu'il est trop étendu ou trop perméable, on la donnera d'abord à une bande de trois ou quatre rigoles ou davantage si l'on peut. Cette section de la prairie étant arrosée, on enverra directement l'eau à une bande inférieure, et ainsi de suite, jusqu'à ce que toute la prairie ait été irriguée.

Pour arroser, par exemple, la bande II et les suivantes en négligeant la bande I irriguée déjà, la vanne S_1 étant maintenue ouverte, on fermera les petites rigoles v, v , et on placera une petite vanne à main ou une motte de gazon en S_2 au-dessous de la rigole r', r' .

Si les rigoles de niveau sont trop longues pour que l'on puisse les faire jouer dans toute leur étendue, on les sectionne à la moitié ou au tiers en y plaçant de petites mottes de gazon. On se sert du même procédé pour les arrosages d'été, alors qu'on dispose de moins d'eau qu'en hiver. Le pré est sectionné en bandes verticales qui sont arrosées successivement.

Avantages et inconvénients de l'irrigation par rigoles horizontales. — Elle est applicable à tous les terrains, depuis la pente de 3 p. 100 jusqu'aux plus fortes inclinaisons des prés de montagne, quels que soient leur périmètre et leurs mouvements.

Elle est particulièrement précieuse dans les pays très accidentés, où elle permet de transformer des terres improductives en prairies de valeur.

C'est elle qui, avec la submersion, permet d'utiliser la quantité d'eau minima, les eaux pluviales, celles qui s'écoulent des terres drainées.

Son établissement s'exécute à peu de frais; son entretien et son fonctionnement sont faciles.



Elle découpe le sol en bandes suffisamment larges qui ne

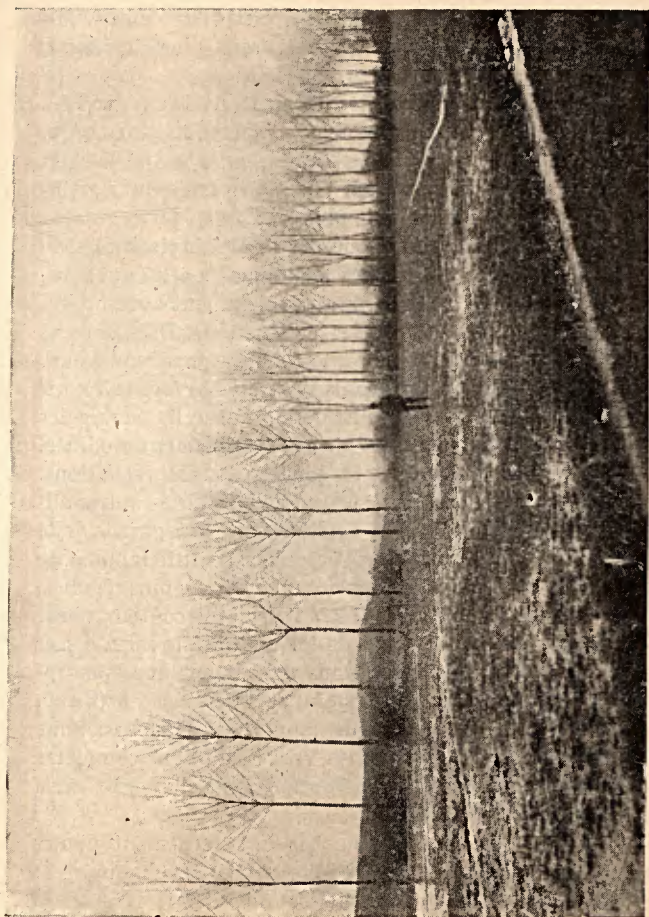


Fig. 40. — Irrigation en grands ados.

Exploitation de M. P. de Malliard, à Saint-Loup-sur-Semouse (Haute-Saône). Irrigation des prairies. L'eau arrive sur la crête de la planche et se déverse en nappe jusqu'au fossé d'égout.

gênent pas le passage des voitures ni celui des appareils qui servent à la récolte.

Elle n'a guère que deux inconvénients. Elle est inapplicable



aux terrains qui ont moins de 2,5 p. 100 de pente. Le ruissellement n'est plus possible, à moins que l'on n'emploie de grandes quantités d'eau et que le sol soit peu perméable. L'eau arrivant alors en masses plus abondantes a plus de *chasse*, comme l'on dit. Elle peut aller plus loin.

Pour une raison analogue, l'écoulement de l'eau dans les colateurs n'a plus lieu régulièrement, et l'assainissement, qui doit toujours suivre l'arrosage, est compromis. Quand le sol a moins de 2,5 p. 100 de pente, il faut créer une pente artificielle, comme nous l'indiquerons plus loin.

Enfin, on reproche à la méthode des rigoles horizontales de demander certaines connaissances techniques à celui qui l'établit. Les rigoles doivent être tracées évidemment avec un art qu'on ne peut demander à tous les cultivateurs. Elles exigent l'emploi du niveau à lunette ou tout au moins du niveau d'eau.

B. Irrigation artificielle par rigoles horizontales ou par plans inclinés. — Dans l'irrigation naturelle par rigoles horizontales, la surface du sol n'est pas sensiblement modifiée. On se borne à faire disparaître les plus grosses dénivellations. Dans l'irrigation artificielle, la surface de la prairie est travaillée de telle sorte que, après l'enlèvement des gazons, elle offre un plan incliné, sensiblement régulier, à pente minima de 4 p. 100. Ce mode d'irrigation fournit un arrosage plus régulier, plus intensif que le précédent. Mais il est plus coûteux parce qu'il nécessite des mouvements de terrain parfois assez considérables. On ne l'emploie que dans des circonstances exceptionnelles, quand la pente du terrain, supérieure à 2,5 p. 100, est inférieure à 3 p. 100, et pour suppléer aux ados, comme cela se fait, par exemple, dans les Vosges, ou pour compléter leur établissement sur la même prairie. On l'appelle aussi *irrigation par plans inclinés*.

Le terrain est disposé en planches rigoureusement planes présentant une pente de 4 p. 100. Avec une pente moindre et des terres fraîchement remuées, il y aurait lieu de craindre la pénétration de l'eau dans le sous-sol et un excès d'humidité. On distingue l'*irrigation par plans inclinés ordinaires* et l'*irrigation par plans inclinés en étages ou en gradins* : cette dernière peut être *naturelle* ou *artificielle*.



Plans inclinés ordinaires. — Dans l'irrigation par plans inclinés ordinaires (fig. 34, p. 237), le terrain offre une surface plane unique, coupée de place en place par les rigoles d'arrosage; il n'y a pas de rigoles de colature. Les rigoles d'arrosage sont espacées d'une quinzaine de mètres. Elles ont 0^m,25 de large, et leur profondeur est aussi faible que possible.

Plans inclinés en étages ou gradins. — 1^o ÉTAGES ARTIFICIELS. — La surface du terrain, au lieu de présenter un plan unique AB, long et incliné à 4 p. 100, offre une série de plans inclinés plus petits et parallèles (fig. 40). Dans le procédé dit des *plans inclinés artificiels* (HG, FE, DC, fig. 41), le sol est complètement remanié, jusqu'à ce qu'il atteigne sa configuration définitive. Chacun de ces plans porte en haut une rigole d'arrosage et en bas une rigole de colature. La méthode des étages a sur celle des plans inclinés ordinaires

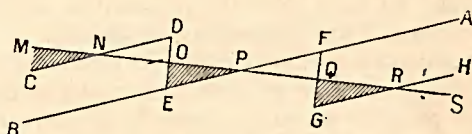


Fig. 41. — Transformation d'une planche en gradins.

l'avantage de diminuer d'une façon très sensible l'importance des terrassements.

En effet, soit MS (fig. 41) la trace, sur le plan de la figure, du plan du terrain naturel, AB celle du terrain remanié; le remblai ANP est équivalent au déblai BMP. La méthode consiste à remplacer le plan unique AB par les trois plans HG, FE, DC. Les volumes de terre à remuer, V dans le premier cas, v dans le second, sont évidemment proportionnels aux surfaces BPM et CNM $\times 3$, ou à MP^2 et $3 \left(\frac{MP^2}{3} \right)$.

Donc

$$\frac{V}{v} = \frac{9}{3}, \quad \text{et} \quad v = \frac{V}{3}.$$



D'autre part, le travail à effectuer pour déplacer les masses de terre est proportionnel aux produits de V et v par la distance des centres de gravité. Si l désigne cette distance, ces produits sont respectivement de Vl et de $\frac{3V}{9} \times \frac{l}{3} = \frac{Vl}{3^2}$. On verrait de même que, si l'on remplace le grand plan incliné par quatre petits, le travail des terrassements et de leur transport sera réduit de Vl à $\frac{Vl}{4^2}$. D'une manière générale, si n désigne le nombre des plans inclinés qui remplacent le plan unique AB , les travaux de terrassement sont réduits de Vl à $\frac{Vl}{n^2}$. Nous empruntons le principe de cette démonstration à M. Faure, professeur à l'Institut agronomique.

La figure 42 montre l'application des plans inclinés à un terrain légèrement vallonné sans emploi de l'eau des colatures.

Le emploi de l'eau s'effectue rapidement. La figure 44 donne l'exemple d'une disposition convenable.

2° ÉTAGES NATURELS. — Au lieu d'exécuter en une fois les plans inclinés, on peut les construire, petit à petit, chaque année. La première année, on trace la première rigole de colature, et avec la terre qui a été extraite on établit la rigole d'arrosage du haut; on procède de même pour les autres rigoles en profitant, pour choisir leur emplacement, des dispositions naturelles du terrain. L'année suivante, on se servira des terres provenant des curages de ces rigoles pour exhausser le sol. On rejette la vase vers le haut de chacune des planches, de manière à former peu à peu les différents étages. C'est un procédé économique, mais lent.

Avantages et inconvénients de l'irrigation par planches inclinées en gradins. — Elle présente des avantages analogues à ceux de l'irrigation par ados. Elle exige moins d'eau. L'assainissement provoqué par la multiplicité des rigoles est bon. Mais elle couvre le sol de petites surfaces inclinées qui gênent la marche des machines agricoles. Elle peut s'employer, concurremment avec celle des ados, pour achever l'arrosage d'une surface dont toutes les parties ne



s'accommodent pas de l'établissement des doubles planches. A ce point de vue, elle complète les ressources que l'ingénieur doit avoir à sa disposition pour faire face aux difficultés du terrain. Elle joue donc un peu à l'égard de l'irrigation par ados le rôle que remplissent les *épis* ou *razes* vis-à-vis de la méthode d'arrosage par rigoles de niveau.

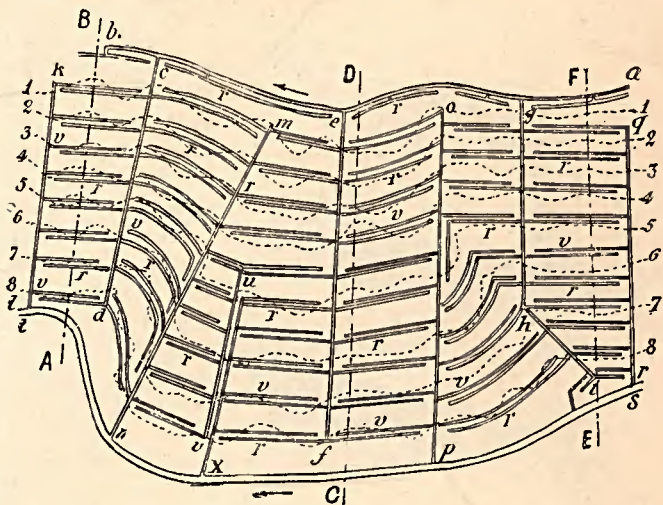


Fig. 42. — Irrigation par demi-planches en terrain vallonné, sans remploi de l'eau de colature.

ab, canal d'amenée ; *cd, ef, gh*, rigoles de distribution ; *r, r, r* rigoles d'arrosage ; *v, v, v*, rigoles de colature ; *kl, mn, op, qr*, canaux de colature ; *ACE*, canal d'évacuation des eaux ; 1, 2, 3, ..., 8, courbes de niveau.

La figure 42 montre l'application de cette méthode sur un terrain légèrement vallonné, sans remploi de l'eau des colatures.

Le remploi de l'eau s'effectue facilement. La figure 44 donne l'exemple d'une disposition convenable. L'ingéniosité de l'ingénieur agronome, toujours tenue en éveil par la néces-



sité de se plier le plus possible aux formes de terrain, peut trouver des combinaisons très nombreuses.

2° Irrigation par rigoles obliques ou méthode provençale des calants. — Applicable aux terres labourables et aux prairies artificielles, cette méthode est très répandue dans la vallée du Rhône. C'est celle qui est la plus avantageuse

pour irriguer les grandes plaines d'alluvions à pente à peu près régulière pouvant aller de 1 p. 1 000 jusqu'à 2 p. 100.

Elle consiste essentiellement à disposer obliquement aux courbes de niveau n, n', n'' des rigoles CD, EF, GH qui prennent l'eau sur le canal d'alimentation AB. (fig. 45, p. 252).

Ces rigoles ont une section telle qu'elles puissent porter le module usité dans la région méridionale

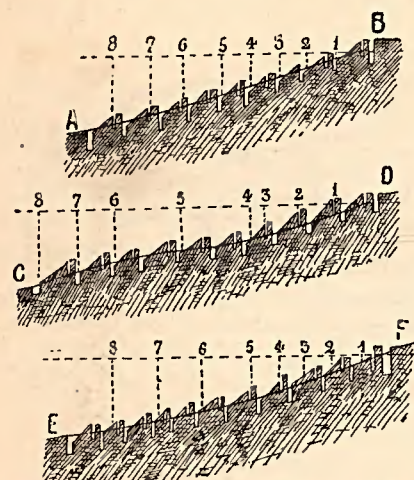


Fig. 43. — Profils suivant AB, CD, EF des demi-planches de la figure 37.

(50 litres). Suivant le plus ou moins de perméabilité du sol, elles sont espacées de 10, 20 et même 60 mètres. On divise l'espace qu'elles enserrent en planches de 10 à 15 mètres de largeur à l'aide de bourrelets b, b_1, b_2, b_3 , élevés en terre, de 0^m,40 à 1 mètre de large sur 10 centimètres de hauteur. Ces petits talus ne gênent pas le passage des machines ; ils facilitent l'arrosage en permettant de n'arroser à la fois que la surface convenable, et ils retiennent l'eau à la manière des digues de la submersion. Le passage de l'eau de la rigole d'arrosage sur la planche s'opère au moyen de tuyaux de poterie disposés en o, o', p, p', r, r' . Ils sont espacés de 3 mètres environ. On emploie aussi quelquefois une petite vanne qui s'applique sur l'échancrure pratiquée

dans la rigole. Le refoulement de l'eau des rigoles de distribution GD, GF, GH dans les parcelles irriguées s'obtient en plaçant une vanne plus ou moins loin dans les rigoles, suivant que l'on arrose à la fois un plus ou moins grand nombre de parcelles.

Le sol, dans chacune des planches, a été grossièrement nivelé à l'aide d'une herse, généralement, afin de faire disparaître les plus grosses inégalités. Ce procédé a l'avantage d'être très facile à établir, de ne consommer que peu d'eau

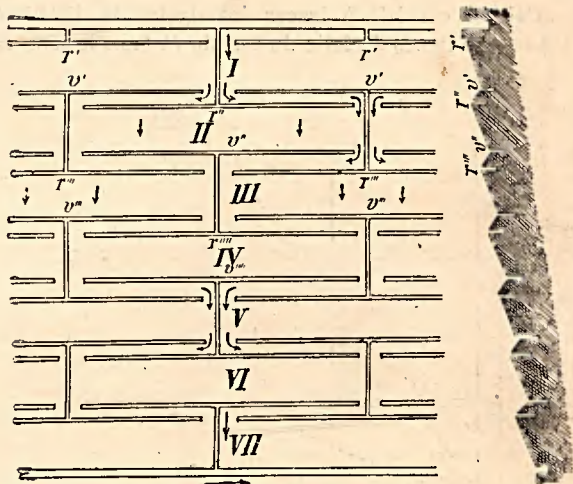


Fig. 44. — Irrigation par demi-planches avec emploi de l'eau.
r, r', r'', r''', rigoles d'arrosage ; *v, v', v'', v'''*, rigoles de colature.

et de permettre aussi bien le pâturage que l'emploi des faucheuses mécaniques. Il est indiqué pour les pays chauds, pauvres en eau, à grandes plaines à peu près unies. Mais il demande les soins d'un ouvrier habile.

3^o Irrigation par rigoles inclinées, razes ou épis de blé. — L'irrigation par razes emprunte au mouvement naturel de l'eau sur le terrain la direction de ses canaux. Elle est applicable aux terrains qui ont au moins 2 p. 1 000 de pente, s'ils sont suffisamment imperméables, et que l'on ait assez d'eau, jusqu'à ceux qui en ont au plus 6 p. 100. Au-dessus de cette

déclivité, l'arrosage devient très incomplet. Elle suppose un terrain régulièrement vallonné, où les contreforts et les petites vallées se suivent. C'est au moins dans ces conditions qu'elle fonctionne le mieux. Elle ne peut s'accommoder des dénivellations, entonnoirs ou éminences, que tolérât l'irrigation par rigoles horizontales. Il faut donc faire disparaître ces mouvements brusques du terrain par des déblais et des remblais.

La méthode consiste à tracer des rigoles de distribution (fig. 46) sur les lignes de faite du terrain et dans le sens de sa

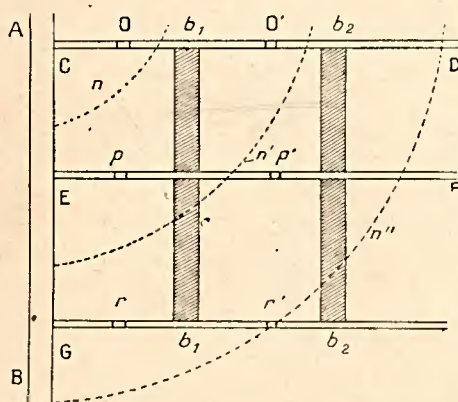


Fig. 45. — Irrigation par rigoles obliques ou *calants*.

pente. Sur ces rigoles s'amorcent de part et d'autre des rigoles d'arrosage.

Leur ensemble rappelle un épi de blé. Lorsque le terrain manque de pente, on creuse dans les thalwegs, entre les rigoles de distribution, des rigoles de colature.

Les eaux se réunissent dans un canal plus important. Celui-ci sert de canal d'alimentation à une autre série de rigoles qui arrosent la section de la prairie au-dessous de la première ; ou bien il envoie son produit à l'extérieur.

Rigoles principales d'alimentation et de colature.



— Elles se tracent comme il a été dit au chapitre des travaux préalables à l'irrigation.

Rigoles de distribution. — Les rigoles de distribution $a, b, a', b', c', a'', b'', c'$, s'amorcent à la rigole principale d'alimentation ABC et à ses dérivations BD, EG (fig. 46). Elles occupent

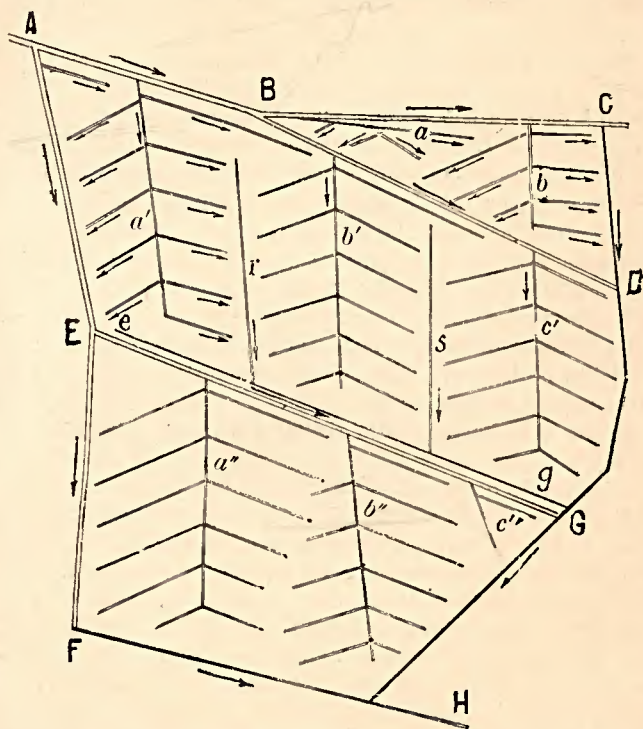


Fig. 46. — Plan d'ensemble d'une irrigation par rigoles en « épi de blé ».

toujours les crêtes du terrain et sont dirigées suivant sa plus grande pente. Elles diminuent de largeur au fur et à mesure qu'elles ont desservi les rigoles d'arrosage. La distance qui les sépare varie de 30 à 50 mètres.

Elles conservent la même largeur de la première à la

deuxième paire; elles diminuent brusquement à partir de celle-ci et conservent la même dimension transversale jusqu'à la troisième paire, et ainsi de suite. Il est d'ailleurs impossible de fixer d'avance ces différentes largeurs, qui varient avec la nature du sol, la pente, la longueur des rigoles, etc. Leur profondeur se maintient constante sur toute la longueur; elle varie de 0^m,20 à 0^m,25.

Rigoles d'arrosage. — Elles s'amorcent par paires de part et d'autre des canaux de distribution. Profondes de 0^m,20 à 0^m,25 à leur origine, elles ne conservent que 0^m,10 à leur extrémité. Leur largeur, d'abord de 0^m,25, diminue aussi progressivement dans le même sens. Le déversement de l'eau s'effectue ainsi le plus régulièrement possible. Leur pente ne doit jamais dépasser 0^m,005 par mètre, sinon l'arrosage s'effectue mal, l'eau se portant immédiatement aux extrémités. Elle ne doit pas être inférieure à 0^m,001. Cette pente doit être rigoureusement uniforme sur toute leur longueur.

La distance qui sépare deux paires de rigoles dépend aussi du sol et de la pente. Elle doit être comprise entre 3 mètres et 15 mètres au maximum.

Quant à la longueur des rigoles d'arrosage, elle ne peut dépasser 25 mètres.

Rigoles de colature. — Ces rigoles, telles que *r*, *s* (fig. 46), sont placées dans les thalwegs. Leur largeur et leur profondeur, de 0^m,25 environ à l'origine, vont en croissant au fur et à mesure qu'elles reçoivent un volume d'eau plus considérable. Elles réunissent leurs eaux dans des colateurs *e*, *g*, qui aboutissent au canal d'évacuation CDG.

Il peut être utile, parfois, de tracer de part et d'autre des rigoles, qui deviennent alors des colateurs principaux, de petits canaux en épis, situés entre les rigoles d'arrosage, qui facilitent le départ de l'eau. On ne prend cette précaution que dans les terrains dont la pente est très faible.

Avantages et inconvénients de l'irrigation par rases. — Son avantage le plus sensible réside dans la facilité et la simplicité de son tracé. Moins que toute autre, l'irrigation par rigoles inclinées exige le concours d'un homme de l'art. Elle est bon marché à établir. Elle s'accommode des terrains



dont la pente est inférieure à celle que nécessite l'irrigation par rigoles de niveau. Toutefois, et dans les conditions indiquées page 251, elle ne saurait convenir à des prairies ayant moins de 2 p. 1 000 de pente par mètre, ni à celles qui en auraient plus de 6 p. 100. Elle nécessite une certaine conformation du sol, l'existence de petits contreforts et de petites vallées. Elle ne se prête pas aussi bien que l'irrigation par rigoles de niveau à l'arrosage des terrains très ondulés. Il faut alors que les razes contournent les accidents du terrain, et on en arrive plus ou moins à une mauvaise irrigation par rigoles de niveau.

Les razes distribuent l'eau d'une manière beaucoup moins uniforme que les rigoles de niveau. Les bords immédiats des rigoles sont toujours plus arrosés que les autres parties du pré ; ils donnent aussi plus d'herbe. Plus il y a de rigoles, plus il y a donc de foin. Aussi la pratique de l'arrosage demandait-elle beaucoup d'attention, le concours d'un ouvrier actif et expérimenté. On doit souvent modifier la position des carrés de gazon ou des petites vannes qui servent à rétrécir plus ou moins les rigoles.

Pour l'appliquer aux faibles pentes (2 p. 1 000), il faudra que le sol ne soit pas trop perméable et que l'on dispose d'assez d'eau pour pouvoir forcer la dose d'arrosage.

Le plus souvent, on devra se borner à employer ce mode d'irrigation pour compléter l'irrigation par rigoles de niveau dans les parties du pré où cette dernière ne peut être employée. Les razes s'accommodent assez bien de volumes d'eau faibles ou forts.

4° Méthode d'irrigation par planches en ados. — Les méthodes d'irrigation par ruissellement sont inapplicables, en général, lorsque la pente du terrain n'atteint pas 3 p. 100. Pour les utiliser au-dessous et aux environs mêmes de 3 p. 100 de pente, il faut disposer d'une quantité d'eau plus considérable et n'avoir affaire qu'à un *terrain perméable*, qui ait un grand pouvoir d'absorption pour l'eau. Au-dessous de cette pente limite de 3 p. 100, il est donc nécessaire de créer une pente artificielle. On y arrive en construisant des *planches en ados*. Cette méthode est la seule qui permette d'arroser par ruissellement un terrain dont la pente est insensible et qui assure son assainissement parfait.



Elle consiste essentiellement à disposer la surface du champ à arroser en bandes rectangulaires accolées deux à deux de manière à former un toit très aplati ou *ados* (fig. 47). Chacune

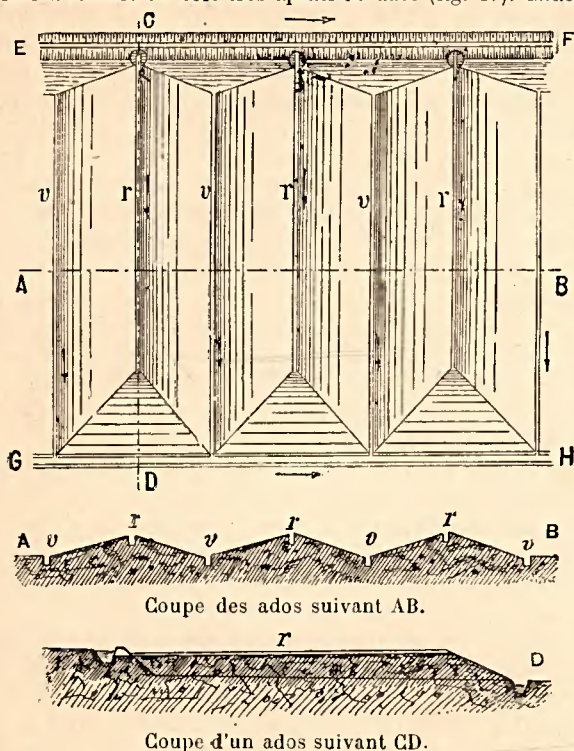


Fig. 47. — Irrigation par planches en ados, plan d'une série de trois ados.

EF, canal de distribution; *r, r, r*, rigoles d'arrosage; *v, v, v*, rigoles de colature; GH, canal de colature.

de ces bandes, appelées *demi-planches*, *flancs* ou *ailes*, forme un plan incliné qui représente l'un des pans du toit.

L'une des extrémités de la *planche*, constituée par la réunion des deux flancs ou ailes, se termine par un troisième plan



incliné, triangulaire, qui représente le pignon du toit. L'autre extrémité s'appuie contre le talus d'un remblai. Celui-ci supporte le canal de distribution EF (fig. 47), qui doit donner l'eau aux ados. Le canal de distribution communique à cet effet avec une rigole d'arrosage r , creusée au faite de l'ados.

A peu près tracée horizontalement, cette rigole laisse l'eau couler de ses deux bords sur chacune des demi-planches qui forment l'ados. Après l'arrosage, l'eau se rend dans des rigoles de colature φ qui séparent chacune des planches, et de là dans un canal d'écoulement collectif, GH; celui-ci passe au bas des planches. Il est parallèle au canal de distribution et court à l'extrémité opposée de l'ados.

Ces dispositions indiquent que l'on construira l'ados en exécutant un déblai et un remblai. La méthode des ados exige donc un certain mouvement de terrain. C'est une méthode *artificielle*, tandis que l'irrigation par rigoles horizontales est une méthode naturelle.

La figure 47 donne une vue en plan d'une série d'ados avec les différents canaux et rigoles; EF représente le canal d'alimentation; r , r les rigoles de déversement; φ , φ les rigoles de colature qui aboutissent au canal d'écoulement GH.

En bas de la figure sont représentés un profil transversal des trois planches et le profil longitudinal de l'une d'entre elles pris suivant CD.

A l'origine, c'est-à-dire contre le remblai qui supporte le canal de distribution, la pente des ailes est à peu près nulle; elle augmente jusqu'à l'extrémité de la rigole d'arrosage.

Les rigoles d'arrosage, r , n'ont qu'une pente très faible, tandis que les rigoles de colature, φ , ont une pente voisine de 1 à 2 centimètres par mètre. Il en résulte que l'ados a plus de saillie à l'extrémité, où il se termine en croupe, que du côté voisin du canal de distribution. Chacun de ses flancs ne représente donc pas un plan, mais ce que l'on appelle en géométrie une surface gauche. Elle peut être considérée comme engendrée par une ligne droite mobile qui se meut en restant constamment appuyée sur la ligne de faite de l'ados et sur la ligne la plus basse. L'inclinaison de cette surface va en aug-



mentant légèrement depuis la tête de la planche jusqu'à l'extrémité opposée. L'eau ne coule donc pas sur les planches en suivant une direction perpendiculaire à la crête de l'ados. Elle suit un chemin plus ou moins oblique.

Il est facile de faire immédiatement sentir quel est l'avantage que l'on retire des *ados* au point de vue de la recherche de la pente nécessaire à l'arrosage.

Supposons que le terrain n'ait qu'une pente de 1 p. 100; elle serait insuffisante pour irriguer avec des rigoles horizontales. En établissant un ados d'une longueur de 30 mètres, sa crête se trouvera, au pignon, à une hauteur de $30 \times 0,01 = 0^m,30$ au-dessus du sol naturel. Si cet ados est large de 9 mètres, ses flancs offriront au pignon une pente de $\frac{0^m,30 \times 100}{4,5} = 6,66$.

p. 100. Chacune des ailes de l'ados aura donc une pente suffisante pour être arrosée par la rigole *r*, qui occupe la crête de l'ados. Au milieu de l'ados, la pente serait de $\frac{0,15 \times 100}{4,5} = 3,33$.

Les ados peuvent être orientés : soit suivant la plus grande pente du sol (fig. 55, p. 272) ; soit (fig. 56) parallèlement à cette plus grande pente.

Pente et dimensions des ados. — Soit en ABC (fig. 48) la coupe transversale d'un ados par le plan vertical passant par le pignon A ; AE = *h* la hauteur du pignon au-dessus du plan de la base de l'ados ; BC la largeur 2*l* de l'ados et AB la largeur *a* du flanc ; α l'angle ABC. La pente ou $\tan \alpha$ de l'aile de l'ados est égale à $\frac{h}{l}$.

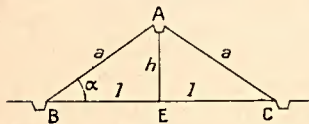


Fig. 48. — Coupe d'un ados.

$$\tan \alpha = \frac{h}{l}.$$

La longueur de l'ados dépend de la pente naturelle du terrain lorsque l'ados est dirigé suivant cette pente.

Plus elle est accentuée, plus l'ados est court ; autrement, les terrassements seraient trop importants. Elle est ordinairement de 25 à 30 mètres. Lorsque les ados sont dirigés perpendiculairement à la pente du sol, leur longueur peut être

portée beaucoup plus loin, à la condition de donner des dimensions convenables à la rigole d'arrosage.

Soit OAF (fig. 49) la coupe longitudinale d'un ados suivant la ligne de faite OA. On peut remplacer l'ados ayant pour longueur OA et pour hauteur AF par trois petits *ados étagés* ayant chacun pour longueur $\frac{OA}{3}$ et pour hauteur $\frac{AF}{3}$.

La largeur de chacun de ces petits ados sera d'ailleurs la même que celle de l'ados primitif. Il en résulte que la pente de leurs ailes sera aussi le tiers de la pente des ailes du grand ados qu'ils remplacent. Si l'on remplaçait l'ados primitif par quatre petits ados, la longueur, la hauteur et la pente de ces quatre ados ne seraient respectivement que le quart des lon-

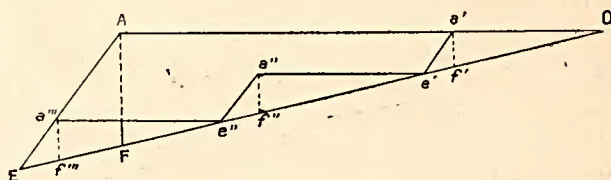


Fig. 49. — Transformation d'un ados en gradins.

gueur, hauteur et pente du premier ados, et ainsi de suite. En remplaçant un ados d'une longueur déterminée par des ados de même largeur, mais de longueur sous-multiple de la longueur du premier, on économise les terrassements dans des proportions considérables, car le calcul montrerait facilement que la somme des volumes de ces petits ados est de beaucoup plus petite que le volume de l'ados primitif. Nous empruntons le principe de cette démonstration et la figure qui l'accompagne à M. Faure, professeur à l'Institut agronomique.

Les ados étant placés dans le sens de la pente du sol, leurs hauteur, longueur, largeur et pente latérale et la pente même du terrain sont des quantités liées les unes aux autres.

Supposons que la pente du terrain soit de 2 p. 100 et que l'on limite à 30 mètres la longueur des ados. La hauteur, h ,

de la crête de l'ados au pignon au-dessus du sol sera donnée par la proportion suivante :

$$\frac{2}{100} = \frac{30}{h}; \quad h = 0^m,60.$$

L'ados, pris en son milieu, aura donc 0^m,30 de hauteur. C'est ce que nous appellerons sa *hauteur moyenne*.

La largeur 2*l* de l'ados, s'il doit offrir, là, une pente de 5 p. 100, sera de 12 mètres.

On aura, en effet :

$$\frac{0,30}{l} = \frac{5}{100}; \quad 2l = 12 \text{ mètres.}$$

De la largeur de l'ados et de la pente des *ailes* dépend la largeur de celles-ci.

Telles sont les relations géométriques qui lient entre elles ces quantités solidaires les unes des autres. Mais elles dépendent d'autres facteurs encore. Elles doivent répondre à des conditions multiples, quelques-unes divergentes. Et cette complication rend très délicat l'établissement des ados.

La pente moyenne des flancs de l'ados dépend de la nature du sol. Pour les terres légères, elle sera de 4 p. 100 ; pour les terres fortes, imperméables, de 6 p. 100 ; pour les terres de consistance moyenne, de 5 p. 100.

Cette pente étant ainsi déterminée, la longueur de l'ados liée à la hauteur *h* et à la pente naturelle du sol sera fixée du même coup, et il en sera de même de la largeur de l'ados.

Les ados longs ne conviennent d'ailleurs qu'aux terres imperméables et aux eaux abondantes. En terrains imperméables, beaucoup d'eau se perdrait par infiltration, soit en ruisselant sur de longues planches, soit en parcourant une longue rigole d'arrosage.

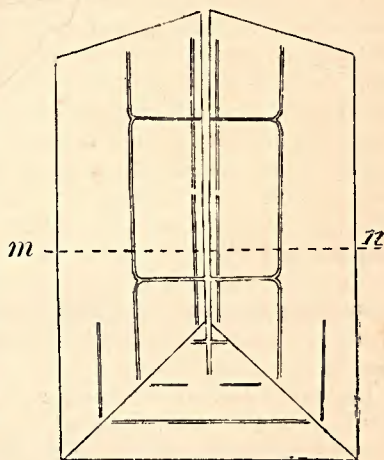
Lorsque les ados sont dirigés suivant la plus grande pente du sol, leur longueur varie ordinairement de 25 à 30 mètres. S'ils sont dirigés parallèlement à cette pente, ils peuvent être beaucoup plus longs et atteindre jusqu'à 80 et 100 mètres.

La *largeur* des ailes varie aussi avec la perméabilité du sol. Elles doivent être d'autant plus étroites que le sol est plus

impermeable. Les ados étroits qui en résultent multiplient les rigoles de colature et favorisent, par conséquent, l'assèchement du sol. On ne peut en employer d'autres pour les prairies établies en terres marécageuses. Si le sous-sol est de mauvaise qualité, il faut construire des ados étroits et à faible pente, car il serait dangereux d'attaquer trop profondément le terrain et de ramener à la surface de grandes quantités de terre infertile. Les ados larges, d'autre part, ont l'avantage d'exiger moins d'eau.

Enfin, il faut que les ailes de l'ados soient assez larges pour permettre aux faucheurs de couper l'herbe. Leur largeur doit donc être multiple de celle d'un andain, bande de pré que l'on peut abattre d'un coup de faux, et qui varie entre 1^m,80 et 2 mètres. Elle doit avoir, au minimum, 4 mètres et elle peut atteindre jusqu'à 36 mètres et même davantage.

La largeur totale des ados aux flancs étroits varie entre 4^m,50 et 8^m,50. Ces ados ont l'avantage de n'exiger qu'une élévation raisonnable de la crête au-dessus du terrain naturel et, par conséquent, de ne donner lieu qu'à des terrassements réduits. En outre, la grande quantité de rigoles de colature qu'ils comportent, rapprochées les unes des autres, favorisent l'assèchement du sol. Ils sont tout indiqués pour des prairies



Plan



Profil suivant mn.

Fig. 50. — Disposition spéciale pour l'arrosage des planches de grandes dimensions.

à sol argileux. Mais ils gênent la circulation des machines agricoles et des voitures. Aussi, quand la nature du sol le permet, leur préfère-t-on souvent des planches plus larges. On en construit, nous l'avons dit déjà, qui ont de 15 jusqu'à 30 mètres de largeur totale. Mais alors, afin que l'arrosage soit régulier, il faut aménager des rigoles horizontales sur les flancs de l'ados et sur la croupe. Les figures 50 et 52 indiquent suffisamment cette disposition pour qu'il soit inutile d'entrer dans de longs détails. Ces rigoles auxiliaires communiquent, par de petits canaux transversaux, avec la rigole de déversement, qui devient ainsi une rigole de distribution. Chacun des flancs de l'ados représente, en effet, une irrigation par rigoles horizontales. Aussi, la rigole qui suit la crête de l'ados doit-elle recevoir une pente et une section plus fortes que lorsqu'il ne s'agit que d'ados étroits.

Les flancs affectent la forme d'une surface gauche qui ne permet pas de tracer les rigoles de niveau parallèlement à la rigole médiane ni aux rigoles de colature. On les trace directement avec le niveau.

Les flancs doivent avoir une pente convenable, conformément à ce qui a été dit plus haut.

Ces grands ados exigent donc plus de terrassements que les petits. Leur entretien est plus difficile que celui des ados étroits. Les terrassements se déforment et se dépriment, surtout dans les terrains légers ; de là, des dépenses. Mais la consommation d'eau est moindre, à surface égale, pour des ados larges que pour des ados étroits. Plus la largeur est grande, en effet, moins il y a de rigoles de déversement pour arroser une même surface. Or, ce sont les rigoles de déversement, surtout en sols légers, qui amènent les pertes d'eau les plus considérables, à cause des infiltrations qui s'y produisent.

Les rangées d'ados peuvent être orientées, soit suivant le sens de la plus grande pente du sol (fig. 55), soit (fig. 56) parallèlement à cette plus grande pente.

Nous verrons d'ailleurs plus loin comment sont disposés ces compartiments.

Ados naturels, ados artificiels et ados en étages. — L'irrigation par ruissellement, pratiquée d'après la méthode



des ados, comprend trois subdivisions : 1^o les *ados naturels* ; 2^o les *ados artificiels* et 3^o les *ados en étages*.

Lorsque la forme du terrain le permet, on doit avoir recours aux ados naturels, dont la construction ne nécessite que le minimum possible de travaux de terrassement.

Les ados artificiels exigent des déblais et des remblais souvent importants. Mais il est rare que le terrain se prête immédiatement, par sa forme, à la construction des ados. Aussi, alors que l'emploi de la méthode artificielle est tout à fait exceptionnel quand il s'agit d'irrigation par rigoles horizontales, elle est presque toujours de règle ici. Toutefois, il faudra donner la préférence aux ados naturels, chaque fois que cela sera possible.

Les ados peuvent être dirigés suivant la pente du terrain ou perpendiculairement à cette pente. C'est la première orien-



Fig. 51. — Construction des ados naturels. Les trois périodes.

tation qui est le plus généralement adoptée. Nous supposons qu'on l'ait choisie dans les développements qui suivent.

Les ados, qu'ils soient naturels ou artificiels, peuvent être disposés les uns au-dessus des autres, *en étages* ou *en gradins* (Voy. p. 277).

A. Ados naturels. — On commence par creuser les rigoles de colature ; on transporte leurs gazons et la terre que l'on en a extraite au milieu de l'espace qui les sépare. On forme avec



ces matériaux de petites digues avec talus extérieurs inclinés qui limiteront la rigole de distribution. Puis, en disposant peu à peu de chaque côté les terres qui proviennent du curage des fossés, on arrivera insensiblement, quelquefois au bout de plusieurs années, à former l'ados. Si les eaux d'arrosage sont limoneuses, leurs dépôts aideront beaucoup à l'achèvement du travail. La figure 51 montre les différentes phases par lesquelles passe l'établissement de l'ados.

Les rigoles de colature telles qu'elles sont indiquées sur la figure 51 ne fournissent pas beaucoup de gazon ni de terre. Aussi la largeur des flancs est-elle d'autant plus limitée que la pente du terrain est plus forte. Elle ne peut dépasser 3 mètres à 3^m,50, et les rigoles de colature sont très voisines les unes des autres. Cela est avantageux lorsqu'il s'agit de prés très humides. Mais ces planches étroites gênent la récolte.



Fig. 52. — Ados naturels de grande largeur.

Dunkelberg a perfectionné la construction des ados naturels de la manière suivante. Il creuse jusqu'à 0^m,50 ou 1 mètre, sur 1^m,50 de large, les rigoles de colature. Il obtient ainsi une grande quantité de gazons et de terres qui servent à former un banc de 4 mètres de large et d'une hauteur convenable au milieu de l'espace réservé à l'ados (fig. 52). Le reste des gazons et des terres extraites des rigoles de colature et les curages annuels des canaux et rigoles permettent de raccorder peu à peu le sommet de l'ados aux rigoles de colature en suivant la pente convenable. La rigole d'arrosage qui occupe le sommet de l'ados n'arrose pas directement les flancs ; elle alimente deux rigoles d'arrosage latérales que l'on voit en coupe sur la figure. Chaque flanc est donc traité comme un compartiment d'une irrigation par rigoles horizontales. On peut alors lui donner une largeur allant jusqu'à 15 mètres, ce qui correspond à une largeur de 30 mètres environ pour la planche entière. La hauteur



de chaque ados au pignon dépend de la pente accordée à chaque flanc, de la largeur de l'ados et de la pente naturelle du sol.

Supposons que l'ados doive avoir 30 mètres de large au pignon et les ailes 3 p. 100 de pente ; le pignon de l'ados devra être établi au-dessus du terrain naturel en ce point à une hauteur de $0^m,03 \times 15 = 0^m,45$.

La longueur de l'ados dépend à son tour de la pente du terrain naturel que nous supposons ici égale à 2 p. 100 et de la hauteur de l'ados au pignon, au-dessus du sol. Elle sera limitée ici à : $\frac{100 \times 0,45}{2} = 22^m,50$.

B. Ados artificiels. — La plupart du temps, il faudra construire artificiellement les ados. Mais on s'ingéniera encore à les établir au prix des plus faibles déplacements possibles du sol, puisque ce sont ces déblais et ces remblais qui rendent la méthode onéreuse.

DIMENSIONS ET PENTE DES PLANCHES. — Les prairies qui sont transformées en ados artificiels offrent à l'action de l'eau un sol beaucoup moins compact que s'il n'avait pas été remué plus ou moins profondément par les terrassements. Aussi, sont-elles plus exposées que d'autres à devenir humides. On doit donc veiller plus étroitement que pour les prairies irriguées avec des ados naturels à la pente des flancs. Elle ne doit pas descendre au-dessous de 5 p. 100 au milieu de l'ados, surtout quand il s'agit de sols argileux.

Ce que nous avons dit précédemment de la longueur des ados et de leur largeur nous dispense d'en parler ici.

RIGOLE D'AMENÉE ET DE SORTIE DE L'EAU. — Les rigoles de distribution, telles que EF (fig. 47, p. 256), puisent l'eau au canal d'alimentation au moyen d'une buse en bois garnie d'une vanne. Suivant les dispositions des ados, elles sont établies soit dans le sens de la pente générale de la prairie, soit en travers.

Leur plafond est placé à $0^m,30$, au minimum, en contre-bas de la ligne de flottaison du canal d'alimentation, afin qu'elles ne manquent jamais d'eau. Leur largeur et leur profondeur



dépendent du nombre et de la dimension des ados qu'elles doivent desservir. On peut se contenter de leur donner une pente de 1 à 3 millimètres par mètre.

A mesure qu'elles s'éloignent du canal d'alimentation, elles portent un volume d'eau moins considérable, puisque le nombre des ados qu'elles desservent diminue. On peut donc diminuer leur largeur à mesure qu'on se rapproche de l'extrémité opposée à la prise d'eau. On donne de 0^m,25 à 0^m,50 de profondeur et 0^m,50 de largeur à l'origine.

RIGOLLES D'ARROSAGE. — Les sections des rigoles d'arrosage varient avec les dimensions des ados. Pour des ados de 25 à 30 mètres de long et de 10 à 12 mètres de large, on peut donner à la section de la rigole d'arrosage, à son origine, 0^m,25 de largeur. Il convient de les faire peu profondes, surtout dans les terrains perméables. On ne doit guère leur donner plus de 0^m,05 dans la généralité des cas, afin d'éviter les infiltrations et de laisser toujours leur plafond au-dessus du niveau de l'eau dans les colateurs. L'eau ruisselle par-dessus les bords de la rigole d'arrosage au fur et à mesure qu'elle avance dans son parcours. Il en passe donc plus dans les parties de la rigole voisine du canal de distribution que dans les parties qui en sont plus éloignées. La rigole d'arrosage doit donc avoir une section régulièrement décroissante au fur et à mesure qu'elle se rapproche de la croupe de l'ados. Des rigoles qui ont à l'origine 20 centimètres de largeur et 10 centimètres de profondeur peuvent ne plus avoir à l'autre extrémité que 10 centimètres de largeur et 0 de profondeur.

Trop creuses, surtout en terrain perméable, les rigoles d'arrosage laissent l'eau s'infiltrer dans le sol. On s'en aperçoit vite à l'apparition des joncs.

Si le sol était très perméable, il faudrait recouvrir de glaise le fond des rigoles d'arrosage.

Les crêtes sont établies de 0^m,10 à 0^m,15 en contre-bas de celles de la rigole de distribution. Les bords doivent avoir une légère pente de leur origine, voisine de la rigole de distribution, à leur extrémité. Si cette pente n'existait pas, l'eau se déverserait presque entièrement dès le commencement de son parcours. Si elle était trop forte, le débordement n'aurait



lieu que vers la fin. On règle cette pente en donnant de l'eau et en surveillant son allure. Elle peut varier entre 1 et 4 ou 5 millimètres. Le plafond des rigoles est ordinairement horizontal. Dans les marcites, les célèbres prairies lombardes, il reçoit une légère pente vers la rigole de distribution (Hérisson), de manière que l'eau y retourne promptement dès que l'on cesse d'arroser. Ces rigoles sont plus profondes que celles que l'on emploie dans les régions du centre et du nord de la France. Lorsque la rigole de distribution ne dessert qu'un petit nombre de planches, on peut à la rigueur la mettre en communication, par de simples ouvertures, avec les rigoles d'arrosage. Lorsque l'on cesse les arrosages, on ferme les ouvertures avec une motte de gazon.

Mais, si la rigole de distribution doit porter l'eau à une grande étendue de prairie, on ne peut plus procéder aussi simplement. Si l'on faisait dans une rigole de cette importance, portant un aussi grand volume d'eau, autant d'échancrures qu'il y a d'ados, il ne serait pas facile de les tenir fermées avec des mottes de gazon. D'autre part, l'emploi des buses et des vannes est toujours assez dispendieux. Enfin un canal d'une certaine importance doit avoir une pente uniforme, tandis que l'on peut être obligé de modifier la pente d'une simple rigole de distribution, le niveau des crêtes des ados pouvant baisser. La rigole de distribution, un peu plus élevée que les planches qu'il s'agit d'irriguer, communique donc de place en place avec des rigoles qui lui sont parallèles, de section moindre et ne desservant que trois ou quatre ados. La communication est établie tantôt à l'aide d'une buse en bois ou en pierre munie d'une vanne, tantôt à l'aide d'un simple tuyau de poterie, que l'on ferme avec une motte de gazon, lorsqu'il ne s'agit que d'une petite prise d'eau.

Ces communications ne sont pas placées directement en face des rigoles d'arrosage, mais un peu en arrière, afin que l'eau n'ait pas tendance à se précipiter avec sa vitesse acquise dans la première rigole dont l'ouverture fait face à la prise et qu'elle nourrirait aux dépens des autres.

RIGOLAS DE COLATURE. — On sait qu'elles ont pour objet d'évacuer immédiatement toute l'eau qu'elles reçoivent et



d'assécher le pré. Elles atteignent d'autant mieux ce but que leur pente est plus accentuée. Elles vont en s'élargissant depuis l'origine de l'ados jusqu'au pignon, parce qu'elles reçoivent des masses d'eau qui vont en augmentant. Leur pente doit être telle que l'assèchement du terrain s'effectue rapidement : de 5 millimètres par mètre au minimum.

Leur largeur est de 25 à 30 centimètres et leur profondeur de 20 centimètres à l'endroit où elles se jettent dans le canal collecteur. Le niveau de l'eau dans celui-ci doit toujours être en contre-bas du plafond de la rigole.

L'eau introduite dans le sol par les rigoles ne doit jamais y rester stagnante. Pour produire ses effets bienfaisants, il faut qu'elle s'échappe rapidement après avoir exercé son action.

RIGOLAS COLLECTRICES DES COLATEURS. — Ces rigoles, telles que GH (fig. 47, p. 256) et AA' (fig. 54, p. 271), ont des dimensions en rapport avec les quantités d'eau qu'elles reçoivent. Lorsque les eaux ne servent qu'une fois, elles les évacuent. Elles les envoient alors dans un canal d'écoulement qui les conduit au loin. Le canal BB' (fig. 54), qui doit donner l'eau aux planches de l'étage inférieur, s'embranché alors avec le canal de distribution. Le plus souvent, on n'abandonne l'eau qu'après qu'elle a servi plusieurs fois. Ce sont alors les colatures des étages supérieurs qui arrosent les étages inférieurs. Nous y reviendrons un peu plus loin. Toujours est-il que, dans ce cas, AA' (fig. 54) n'est plus qu'une rigole de peu de profondeur qui doit laisser déborder les colatures par-dessus le chemin C, d'où elles parviennent dans la rigole de distribution BB' ; celle-ci les répartit dans les rigoles d'arrosage de l'étage inférieur.

CHEMINS D'EXPLOITATION. — On ménage des chemins d'exploitation, tels que C (fig. 54), entre deux séries d'ados. Ces chemins ont 1^m,50 à 3 mètres de largeur. Ils sont gazonnés et arrosés par la rigole collectrice des colateurs placée immédiatement au-dessus d'eux. Ils servent au passage des voitures. S'ils sont jugés inutiles, on confond les deux rigoles AA', BB' en une seule, qui devient rigole de colature pour l'étage supérieur et rigole de distribution pour l'étage inférieur.



ORIENTATION DES ADOS. — La meilleure orientation qu'il convient de donner aux ados est celle du sud au nord. Toutefois, ici encore, comme nous le recommandons sans cesse, il faut avoir égard à la forme du terrain et ne pas trop sacrifier à un avantage, assez léger en somme.

Dans un seul cas les ados reçoivent toujours cette orientation ; c'est en terrain horizontal, parce que, alors, la direction du canal de distribution est indifférente.

Les canaux de distribution suivent la direction des horizontales du terrain. Et ce sont eux, naturellement, qui commandent la direction des ados. Les horizontales peuvent affecter sur le plan une forme sinueuse. Elles peuvent aussi avoir des parties très nettement convexes et d'autres concaves.

La figure 53 montre comment on trace les ados lorsque la courbe qu'elles dessinent s'accuse aussi franchement. Les rigoles de déversement r , r' forment de petites fourches dans les endroits où la courbure est le plus accusée. Quand les horizontales ne sont que légèrement ondulées, il suffit de diriger les crêtes des ados suivant les perpendiculaires communes aux horizontales successives du terrain.

Ces horizontales sont espacées dans le plan vertical de 25 à 30 centimètres. Elles sont d'autant plus rapprochées sur le terrain que la pente est plus forte. Lorsqu'elles sont distantes de 10 à 13 mètres, au plus, le terrain a plus de 3 p. 100 de pente, et l'on peut lui appliquer la méthode d'irrigation par rigoles horizontales. Quand elles sont écartées de plus de 10 à 13 mètres, le sol a moins de 3 p. 100 de pente, et seule est applicable la méthode des ados.

La plupart du temps, les ados sont dirigés suivant la pente du sol.

Dans la Campine belge, Keelhoff a cependant employé exclusivement des ados dirigés perpendiculairement à cette pente. Le canal d'amenée ou canal principal de distribution occupe le haut de la prairie et suit la même direction que les ados. Plusieurs rigoles distributrices s'embranchent sur ce canal et descendent parallèlement les unes aux autres du haut en bas des prés. Chacune de ces rigoles dessert une double rangée de planches jusqu'à la limite inférieure de la prairie.



En bas, et dirigé dans le même sens que le canal principal de distribution, s'étend le canal principal d'évacuation des eaux.

Les rigoles distributrices sont établies en remblai, ainsi que le canal qui les alimente, à moins qu'il ne se trouve naturellement situé à un niveau plus élevé que celui de la prairie.

Les rigoles d'écoulement peuvent être communes à deux séries de planches consécutives ou être indépendantes les unes

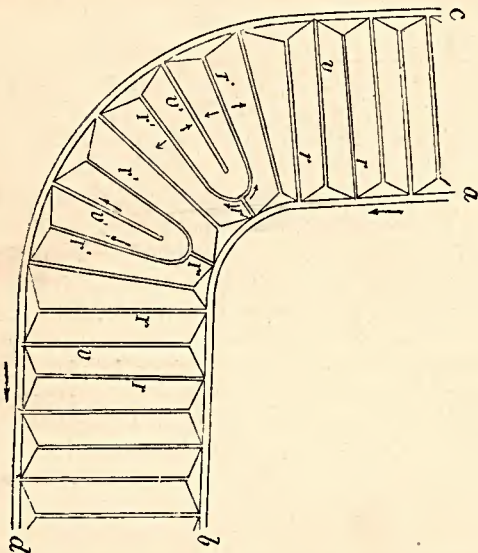


Fig. 53. — Disposition des ados en terrain vallonné.

ab, canal de distribution ; *r, r'*, rigoles d'arrosage ; *v, v'*, rigoles de colature.

des autres. Dans ce cas, l'espace libre qui les sépare forme un chemin praticable aux voitures. Quelques rigoles de niveau alimentées par le canal supérieur servent à l'arroser.

Les ados établis perpendiculairement à la pente du terrain nécessitent moins de terrassements que les autres. L'aile placée en amont est un peu en déblai ; celle qui est en aval, légèrement en remblai. Il en résulte qu'il suffit de jeter la terre à



la pelle suivant la largeur de l'ados et que l'on n'a pas de transport à opérer d'une extrémité des planches à l'autre. C'est une condition économique de premier établissement qui rend avantageuse cette disposition des ados. Mais on ne peut l'adopter que sur les terrains dont la pente est faible.

C'est l'étude de cette pente qui permettra de fixer le sens de la direction des ados.

EMPLOI DE L'EAU DES COLATEURS. — Les planches d'un

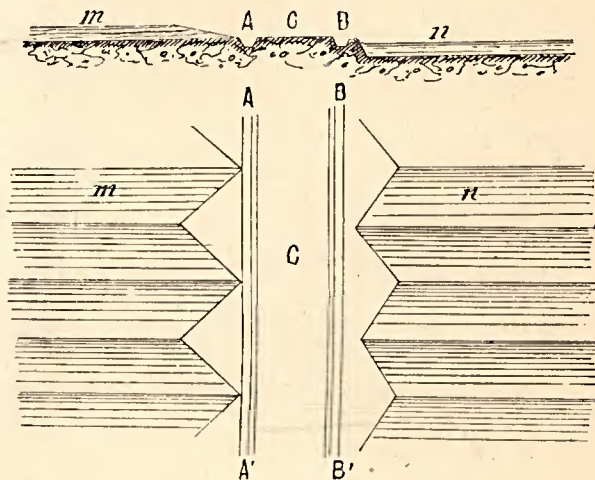


Fig. 54. — Profil et plan de la portion du terrain où finissent les planches d'un étage supérieur et où commencent celles de l'étage inférieur.

étage inférieur peuvent être arrosées avec de l'eau neuve issue du canal d'arrosage placé à la partie supérieure du terrain. Dans ce cas, il suffit de mettre les canaux de distribution en communication directe avec lui. Mais il y a un grand avantage, au point de vue de l'économie de l'eau, à employer celle qui se réunit dans le canal de colature. A cet effet, on peut établir directement la communication entre ce canal et le canal de distribution de l'étage suivant ; ou bien même, on peut confondre en un seul les deux canaux. Le canal unique est alors

rigole de colature pour les planches supérieures et rigole de distribution pour les planches inférieures. C'est la manière la plus simple de procéder. Les figures 55 et 56 représentent cette disposition pour les deux orientations des planches.

La figure 54 représente en profil et en plan, d'après Ch. de Cossigny, une portion seulement du terrain où se terminent les planches d'un étage supérieur et où commencent celles d'un étage inférieur. Ces planches sont dirigées dans le sens de la pente de la prairie, qui est supposée descendre de gauche à droite. Le canal d'alimentation occupe la gauche de la figure

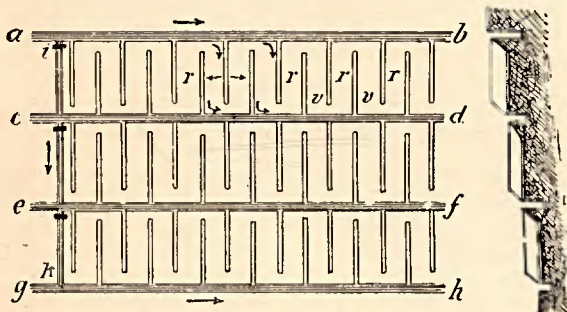


Fig. 55. — Remploi de l'eau (ados dirigés suivant la pente du terrain).

ab, cd, ef, gh, canaux de distribution et de colature ; *r, r, r*, rigoles d'arrosage ; *v, v, v*, rigoles de colature.

et descend du haut en bas de la page. Il alimente les rigoles de déversement de la première série de planches *m*. A, en coupe, AA', en plan, représentent le canal de colature où se réunissent les colatures de chacune des planches ; C figure le chemin ménagé au passage des voitures ; BB' le canal de distribution qui alimente les rigoles de distribution de la seconde série de planches *n* de l'étage inférieur.

Si l'eau ne doit servir qu'une fois, le canal de colature AA' envoie les eaux qu'il a recueillies dans un canal d'écoulement, et le canal BB' communique, plus haut que la figure, avec le canal d'amenée ou l'organe principal de distribution.

Si l'eau recueillie dans la rigole AA' doit arroser l'étage inférieur, elle déborde, arrose d'abord ainsi, le plus souvent, le

chemin C, et se répand dans le canal BB' qui la distribue aux rigoles de déversement des planches *n*. On peut se dispenser, le cas échéant, d'arroser le chemin C en faisant communiquer entre eux les canaux AA', BB' par de petites rigoles transversales. D'ailleurs, on peut supprimer le chemin C, s'il n'est pas nécessaire, en confondant en une seule les deux rigoles AA', BB'.

La disposition précédente se reproduit pour la suite des planches qui s'étagent sur la prairie. Un très grand nombre

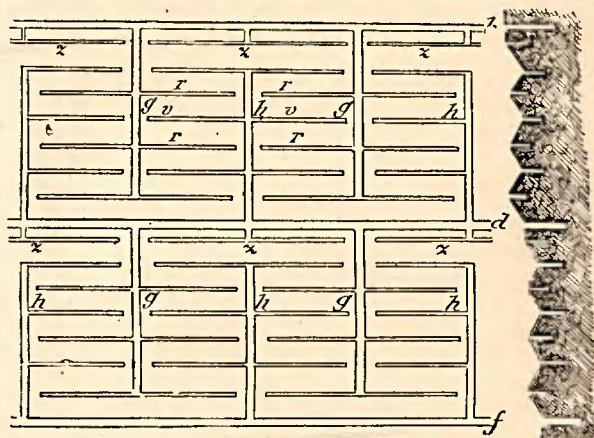


Fig. 56. — Remploi de l'eau (ados dirigés parallèlement aux courbes de niveau).

g, g, rigoles de distribution; *h, h*, canaux de colature; *r, r*, rigoles d'arrosage; *v, v*, rigoles de colature.

d'étages, jusqu'à vingt ou trente, peuvent ainsi se superposer. L'eau y est remployée un nombre égal de fois. Mais il est bon de se ménager la facilité de fournir directement de l'eau neuve aux différents étages. On satisfait à cette convenance en construisant un canal *ik* (fig. 55) qui descend le long de la prairie et grâce auquel on peut envoyer de l'eau dans chacun des canaux *cd, ef, gh*.

Il vaut mieux ne remployer les eaux de colature qu'après qu'elles ont un peu circulé à l'air libre. A cet effet, on irrigue le troisième étage avec les eaux de colature du premier et le quatrième étage avec les eaux de colature du deuxième qui a été

irrigué avec de l'eau fraîche. Les canaux de colature opèrent chaque fois un circuit assez long pendant lequel leurs eaux s'améliorent.

La figure 57 donne un exemple de cette disposition pour des ados dirigés suivant le sens de la pente du terrain.

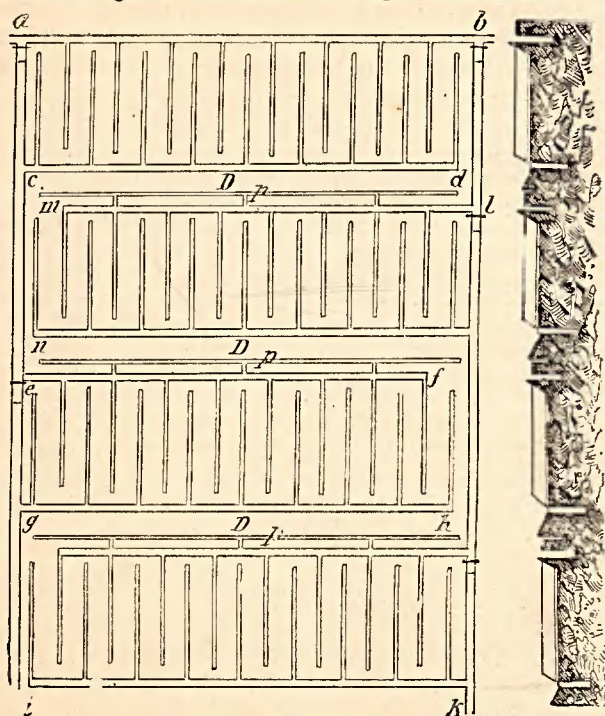


Fig. 57. — Irrigation par planches en ados dirigés normalement aux courbes de niveau avec emploi de l'eau.

ab, ef, rigoles d'arrosage ; *cd, gh*, rigoles de colature.

La figure 55 correspond à une disposition simple et, par conséquent, pratique. La figure 56 reproduit une combinaison de rigoles qui demande, dans son exécution, beaucoup de travail



de mouvement de terres et de soins. Aussi n'est-elle guère pratique à nos yeux, et conseillerons-nous, avant de l'adopter, de bien chercher si l'on ne peut s'arrêter à quelque disposition plus simple. Dans les améliorations agricoles, il ne faut jamais perdre de vue le côté économique et se livrer à des travaux qui ne seraient pas amplement rémunérés.

C. Ados en étages. — En terrains à peu près plats, allongés dans un sens et resserrés dans l'autre entre d'étroites limites, on peut avoir intérêt à employer la disposition dite *des ados en*

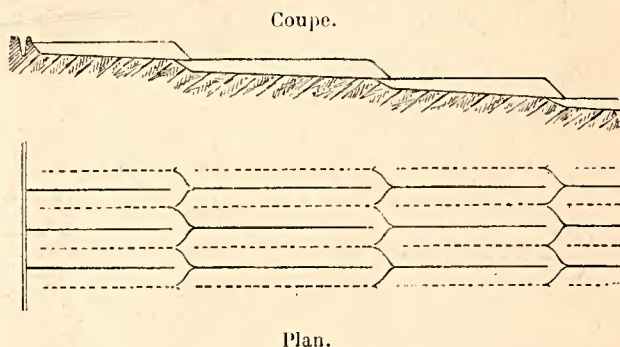


Fig. 58. — Ados disposés en étages ou gradins (1^{re} disposition).

gradins ou étages. Les rigoles principales de colature, les rigoles distributrices et les chemins sont supprimés. L'ensemble de ces ados forme de longues planches, chacun des gradins étant séparé du suivant par un ressaut de faible hauteur. Ces ados sont faciles à construire, soit par la méthode artificielle, soit par la méthode naturelle. Ils peuvent s'étendre sur 100 mètres de longueur. La longueur de chaque gradin dépend d'ailleurs de la pente du terrain. On peut adopter l'une ou l'autre des dispositions suivantes :

Dans la première (fig. 58), l'ensemble des ados formant une longue planche, chaque rigole d'arrosage se termine par un petit ressaut ou plan incliné. Les rigoles de colature se réunissent à la fin de chaque gradin pour porter l'eau à la rigole d'arrosage du gradin immédiatement inférieur.

Dans la seconde disposition (fig. 59), à chaque rigole de colature d'un ados correspond la rigole d'arrosage de l'ados immédiatement inférieur. Ces deux dispositions ne permettent pas d'envoyer de l'eau *neuve* sur les planches disposées à la suite du premier étage. La figure 60 montre une installation où l'eau fraîche peut atteindre le dernier étage. La projection horizontale des ados et la coupe longitudinale suivant l'axe d'un gradin donnent une idée assez exacte de la marche de l'irrigation. Les rigoles d'arrosage du premier étage se prolongent grâce aux descentes douces *b, b, b*, sur le deuxième étage, de manière

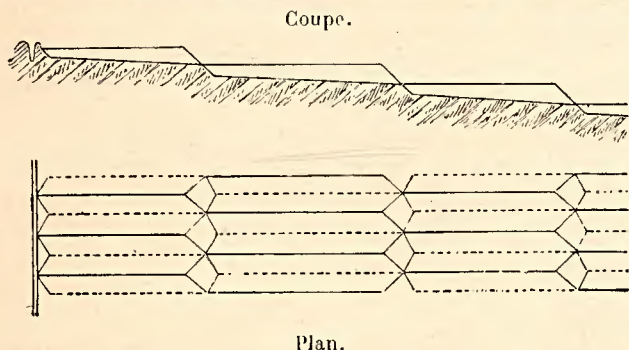


Fig. 59. — Ados disposés en étages ou gradins (2^e disposition)

à suivre la ligne de faite, puis sur le troisième par les descentes *b, b, b*, etc., jusqu'au dernier gradin.

La figure 61 représente le plan d'une partie des prairies irriguées de la belle exploitation agricole de MM. Muret frères, à Noyen-sur-Seine (Seine-et-Marne). La méthode en usage est celle des planches en ados de faible hauteur. C'est le ruisseau dit du Moulin de Haut-Champ qui fournit les eaux d'arrosage. Voici quelques renseignements sur les conditions dans lesquelles a lieu l'irrigation.

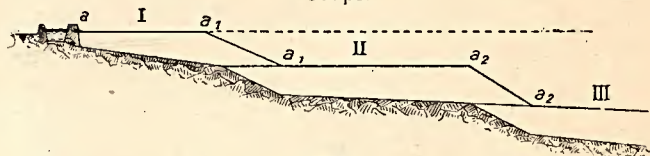
Le ruisseau du Moulin débite de 20 à 25 hectolitres au moment des arrosages. Ceux-ci ont lieu généralement du 1^{er} avril à la fin de septembre. Cependant, lorsque le printemps est froid, on ne les commence qu'après le 1^{er} avril, afin d'éviter



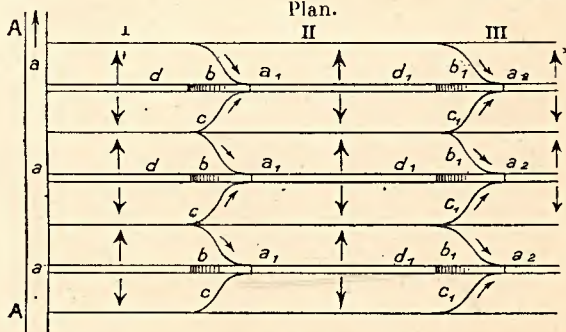
la gelée. Chaque arrosage dure vingt-quatre heures. La pente moyenne des canaux d'amenée tels que A, A est de $0^m,0036$ ($3^{mm},6$) par mètre. Les rigoles d'arrosage I, I' ont une pente de $0^m,0032$ ($3^{mm},2$) par mètre. C'est également la pente des rigoles de colature C, C, C.

Le grand canal de colature D, D, D (ouest) a une pente de $0^m,0041$. Le petit canal D, D, D (est) a une pente de $0^m,002$.

Coupe.



Plan.

Fig. 60. — Ados disposés en étages ou gradins (3^e disposition).

La largeur des planches entre deux rigoles de colature varie entre 20 et 28 mètres. Leur longueur maxima atteint 220 mètres.

La pente de chacune des ailes des ados est environ de 2 centimètres par mètre.

QUANTITÉ D'EAU NÉCESSAIRE AUX ADOS. — L'irrigation par ados exige une quantité d'eau plus considérable que les autres méthodes. Aussi n'est-elle usitée que dans les pays où l'on dispose de beaucoup d'eau, dans le nord de la France, généralement, et non dans le midi. Vincent estime que la quantité d'eau nécessaire doit varier avec la largeur des planches dans les proportions suivantes :

Largeur des planches.	Quantité d'eau en litres à la seconde.	Hauteur d'eau correspondante.
8 mètres.	120	1 ^m ,04
12 —	90	0 ^m ,78
16 —	60	0 ^m ,52

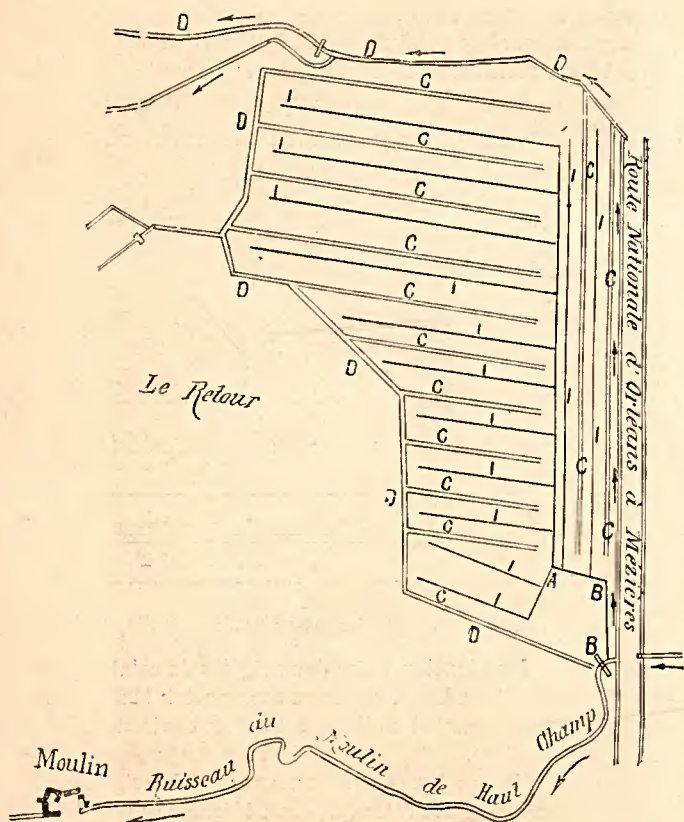


Fig. 61. — Irrigation des prairies de MM. Muret frères,
à Noyen-sur-Seine (Seine-et-Marne).

A, A, A, canal d'aménée ; I, I, I, rigoles d'arrosage ; C, C, C, rigoles de colature ; D, D, D, grands et petits canaux de colature.

Mais il s'agit d'irrigations fertilisantes exécutées dans le nord de l'Allemagne, et ces masses d'eau sont énormes.

Dünkelberg estime l'irrigation parfaite avec 42-53 litres

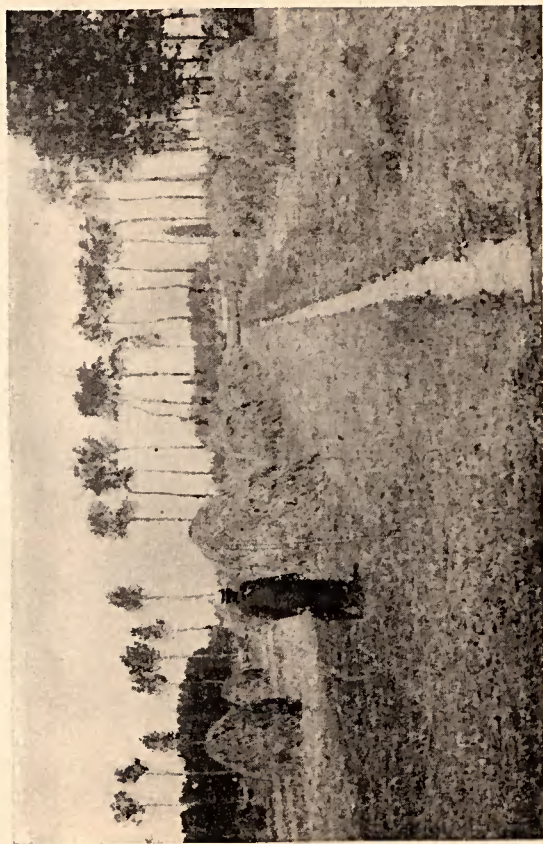


Fig. 62. — Irrigation des prairies de l'exploitation de MM. Muret frères, à Noyen-sur-Seine (Seine-et-Marne). Vue de deux planches d'ados, séparées par une rigole de colature.

d'écoulement permanent à la seconde, très bonne avec 35 litres, bonne avec 28 litres, suffisante avec 17 litres. Ici, encore, il s'agit de l'Allemagne et d'irrigations fertilisantes.

Pour aider à déterminer le nombre et l'étendue des planches qui peuvent être alimentées par une même prise d'eau partielle, Charpentier de Cossigny estime, d'après les irrigateurs allemands, qu'un écoulement de 1 litre par seconde peut alimenter tout au plus 20 à 30 mètres de rigole d'arrosage versant l'eau des deux côtés. Il ajoute qu'il vaut mieux fractionner l'espace à arroser, quand on n'a que peu d'eau à sa disposition, et irriguer les unes après les autres ces parcelles, que de disséminer l'eau sur de trop grands espaces qu'elle ne peut qu'humecter. D'ailleurs, le plus souvent, les quantités d'eau disponibles varient avec les saisons, et ce n'est qu'au moment même de l'arrosage que l'on pourra augmenter ou diminuer l'étendue de l'espace arrosé.

Avantages et inconvénients de la méthode d'irrigation par ados. — C'est la seule méthode qui permette d'irriguer énergiquement à l'eau courante des terrains qui ont moins de 3 p. 100 de pente. Et cet avantage est d'autant plus sensible que la pente est plus faible et que le sol est moins perméable. On pourrait, en effet, à la rigueur, arroser par la méthode des rigoles horizontales un terrain qui serait presque plat, pourvu qu'il soit perméable et que l'on dispose de beaucoup d'eau ; mais il serait impossible de procéder de la sorte s'il s'agissait d'un terrain imperméable ou marécageux.

Les ados, grâce à leurs pentes, grâce aux rigoles de colature multipliées, rapprochées jusqu'à 4 ou 5 mètres, créent un drainage énergique. Somme toute, ils permettent de porter la prairie à son plus haut degré de fertilité. C'est à eux qu'il faut recourir dans les irrigations d'hiver et chaque fois que l'on désire employer de grands volumes d'eau pour féconder le sol. C'est grâce à eux, aussi, que l'on a pu créer les prairies d'hiver appelées *marcites* en Italie. Le mouvement rapide qu'ils donnent à l'eau lui permet de couler longtemps en hiver sur le sol sans qu'elle nuise aux plantes.

L'inconvénient le plus sensible de ce procédé, c'est qu'il est généralement coûteux. Puis il demande beaucoup de soins et d'habileté pour être bien installé. Les irrigations elles-mêmes doivent être surveillées attentivement : quelques pierres, quelques feuilles abandonnées dans une rigole d'arrosage ou de



colature peuvent compromettre l'arrosage régulier des planches. Enfin la transformation du sol en planches bombées, séparées par des fossés, n'est pas favorable à l'emploi des machines agricoles. Et cet inconvénient est aujourd'hui d'autant plus sensible que la rareté de la main-d'œuvre pousse de plus en plus à l'emploi des machines. Enfin, les mêmes circonstances rendent difficile la circulation des voitures qui transportent la récolte. On l'emploie presque exclusivement dans les pays du Nord, où l'on dispose de beaucoup d'eau. Lorsque l'on ne dispose que de peu d'eau, on substitue aux ados les petites digues de la submersion pour le traitement des prairies à faible pente.

2. — Irrigation par submersion.

Le système d'irrigation par submersion consiste à recouvrir le sol d'une couche d'eau plus ou moins épaisse qui séjourne à la surface plus ou moins longtemps.

Il suppose habituellement que le terrain offre une surface plane sensiblement horizontale, de pente très faible, au maximum de 2 p. 1000, et qu'il n'est pas imperméable. La surface que l'on se propose d'arroser est entourée de petites digues. Si sa pente était accentuée, ces digues devraient être élevées; il faudrait user plus d'eau, et, ainsi, le principal avantage de ce système, qui réside dans sa simplicité et son bon marché, disparaîtrait. Enfin, l'eau en grande masse dégraderait le terrain; mais dans le Midi, où l'on emploie peu d'eau, *en réduisant beaucoup la surface des parcelles submergées*, la méthode peut s'appliquer aux terrains qui ont jusqu'à 1 à 2 p. 100 de pente.

Ce procédé est l'un des meilleurs que l'on puisse employer pour arroser des prairies qui n'ont que 1 millimètre à 1^{mm},5 par mètre de pente. Il comprend trois méthodes distinctes :

1^o La *submersion naturelle*, qui résulte soit du débordement normal d'un cours d'eau, soit de l'inondation que l'on provoque artificiellement en exhaussant le niveau des eaux ;

2^o La *submersion artificielle simple*, dans laquelle les eaux, maintenues entre des digues, restent stagnantes pendant toute la durée de l'arrosage ;



3° La *submersion artificielle avec écoulement continu*. L'eau circule doucement à la surface du terrain submergé. Elle se renouvelle d'une manière lente et continue.

Lorsqu'on effectue les arrosages avec des eaux charriant du limon et des sables, ces matériaux, souvent très riches en éléments fertilisants, se déposent à la surface du sol pendant le séjour de l'eau. L'irrigation par submersion s'accompagne alors d'un *colmatage*.

1° **Submersion naturelle.**— Beaucoup de territoires sont sujets à recevoir les crues des cours d'eau qui les traversent. Cette submersion naturelle est pour eux l'origine d'une grande richesse. Telles sont, par exemple, l'Égypte et les pampas de l'Amérique du Sud. En France, de grandes étendues de prairies doivent leur fertilité à des arrosages périodiques de cette nature. Ainsi les *segonaux*, zones comprises entre les digues et l'étiage du Rhône, d'Avignon à la mer, sont submersibles dans toutes les crues moyennes et ordinaires qui ont lieu durant l'hiver. Les récoltes (céréales, vignes, luzernes, etc.) y prospèrent sans engrais et presque sans culture. Aussi, malgré qu'ils soient exposés aux dommages des inondations d'été, ces *segonaux* valent de 2 500 à 3 000 francs l'hectare, tandis que les *garrigues*, situées en dehors des digues, et qui sont exceptionnellement submergées en cas d'inondation, valent au plus 300 francs, pas plus que des landes improductives. Citons encore les prairies qui bordent la Saône, de Gray à Lyon, celles qui côtoient un grand nombre de rivières en Normandie, etc.

Les conditions essentielles de ces submersions naturelles sont, d'une part, des pentes longitudinales très faibles (0^m,40 à 0^m,45 par kilomètre, en moyenne) et des pentes transversales assez sensibles pour que les eaux d'inondation rentrent d'elles-mêmes dans leur lit au printemps.

2° **Submersion artificielle simple.**— Elle suppose un sol plat et de faible pente qui ne dépasse pas 2 p. 1 000, à moins de réduire beaucoup l'étendue des parcelles submergées.

Si la pente était sensiblement plus forte, le dépôt des sédiments et des limons, qui constitue l'une des raisons d'être de ce procédé, ne pourrait avoir lieu. En outre, les eaux risqueraient d'arracher ou de raviner la terre végétale. Enfin, il



faudrait que les bassins de submersion, à moins qu'ils ne soient très réduits, comme dans le sud de la France, fussent entourés de digues très élevées. Et ce procédé, au lieu d'avoir pour lui l'avantage d'être très bon marché, deviendrait très coûteux.

Il consiste à submerger le sol sous une couche d'eau d'une

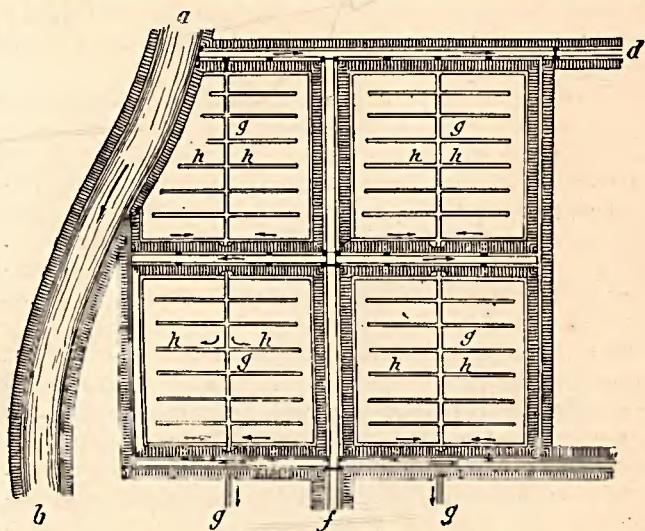


Fig. 63. — Irrigation par submersion. Plan d'une installation à quatre compartiments.

certaine épaisseur pendant un laps de temps qui varie avec la saison.

Le terrain est divisé en compartiments réguliers (fig. 63) entourés de diguettes qui maintiennent les eaux.

Le plus souvent les eaux qui ont arrosé un terrain supérieur arrosent ensuite un compartiment inférieur.

Les compartiments qui divisent la surface arrosée sont de grandeur variable. En général, ils ne dépassent pas 10 à 30 ares. On peut leur donner une largeur d'une cinquantaine de mètres. Quant à leur longueur, elle dépend de la pente du terrain.

Les diguettes qui les entourent de toutes parts dépassent de 0^m,25 la surface de l'eau.



La hauteur moyenne de l'eau au-dessus de la surface du terrain est de $0^m,15$. Au point le plus élevé du bassin, le niveau de l'eau est à $0^m,05$ au-dessus du sol ; au point le plus bas, il est à $0^m,25$, donc en moyenne à $0^m,15$.

Au milieu de chaque compartiment et dans le sens de sa longueur, c'est-à-dire de la pente du sol, est creusée une rigole *g* (fig. 63) qui sert à la fois de rigole d'amenée des eaux et de rigole de dessèchement.

A cet effet, elle peut être accompagnée de petites rigoles latérales *h*. A l'origine et à l'extrémité de chaque compartiment, la rigole *g* porte une buse en bois munie d'une vanne.

Grâce à ce dispositif, on peut retenir les eaux dans un compartiment ou les laisser écouler dans le suivant.

La rigole *g* doit avoir une pente de $0^m,001$ par mètre environ. Sa largeur au plafond et sa profondeur dépendent naturellement de la surface du compartiment et de la quantité d'eau qu'on y envoie.

Le pré doit former un plan horizontal dans le sens de sa longueur et s'incliner légèrement, suivant une pente de $0^m,005$ environ, de part et d'autre de la rigole *g* et vers cette rigole. De cette façon, l'assèchement de la prairie s'opère complètement après que la submersion a duré un temps suffisamment long.

Le niveau de l'eau dans la rigole d'alimentation *d* doit toujours être plus élevé, de quelques centimètres, que celui du côté supérieur du plan incliné qui forme la prairie, afin que celle-ci puisse complètement être submergée.

La figure 63 montre que le pré a été subdivisé en quatre bassins qui forment autant de biefs.

La longueur de ces biefs dépend de la pente du terrain.

Il faut en effet que le niveau de l'eau dans le deuxième compartiment, par exemple, soit inférieur de 1 ou 2 centimètres au plafond de la rigole *g* du premier bief. C'est à cette condition que l'eau contenue dans le premier bief pourra s'écouler complètement dans le second.

Souvent, on se borne à entourer le terrain de petites digues après avoir comblé les dépressions et rasé les monticules. C'est économique, mais alors il arrive la plupart du temps que les eaux d'un bief inférieur refluent dans celui qui est au-dessus et



empêchent son assèchement. Et il vaut mieux procéder à quelques terrassements.

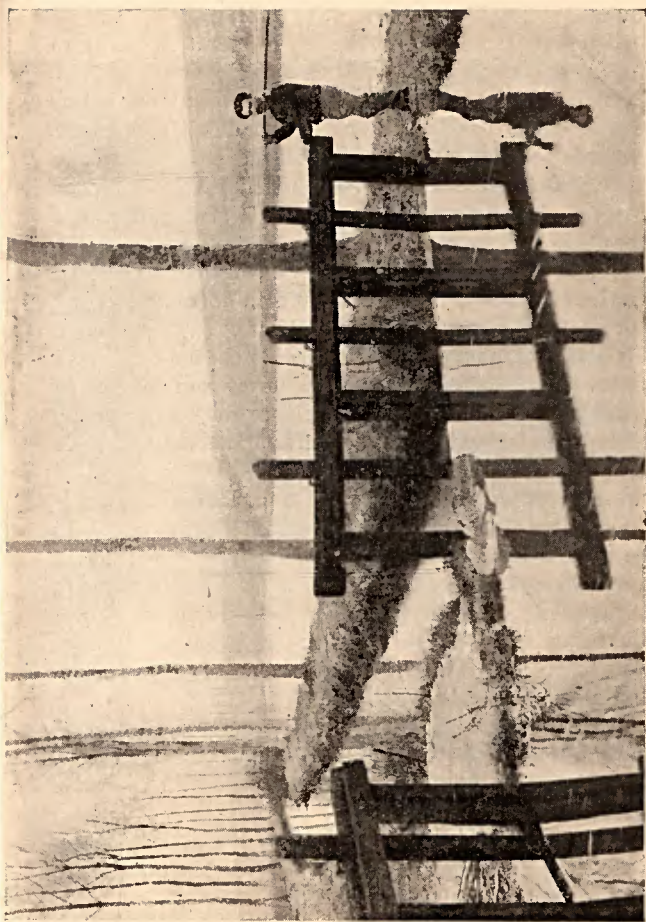


Fig. 64. — Barrages de dérivation et irrigation par submersion. Exploitation de M. P. de Malliard, à Saint-Loup-sur-Semouse (Haute-Saône).

L'eau commence à *submerger* la prairie située à droite de la figure.

Tracé des travaux. — On commence par diviser le terrain

en compartiments d'une largeur convenable, 50 mètres, par exemple.

Chaque compartiment est ensuite divisé en son milieu par une ligne qui indique la direction de la rigole *g*.

Cette ligne est jalonnée et nivelée. Cette opération montrera en combien de biefs la prairie doit être partagée.

On se préoccupe ensuite d'assurer l'horizontalité du sol de chaque bief dans le sens de sa longueur. Afin d'éviter les grands déplacements de terrain, il est essentiel que les déblais compensent à peu près exactement les remblais. A cette fin, on procède comme il suit : on s'établit avec le niveau au milieu de chaque bief, et l'on prend les cotes de tous les points du terrain qui présentent des dépressions ou des éminences. La moyenne de ces cotes donne la cote du plan horizontal auquel le terrain doit être ramené pour que déblais et remblais s'équivalent. Il suffira donc d'établir le milieu de chacun des biefs à la hauteur de cette cote pour que les terres fournies par les déblais provenant de la partie supérieure du compartiment forment les remblais qui sont nécessaires à la construction du compartiment inférieur.

On creuse ensuite la rigole *g*, et l'on trace les digues à l'aide du niveau et des nivelettes (1). Les terres qui proviennent du creusement de la rigole suffisent généralement à la construction des digues. On recouvre les crêtes de la rigole d'assainissement, la crête supérieure des plans inclinés et celle des digues à l'aide de plaques de gazon de 0^m,10 de largeur. Le profil de l'ouvrage est ainsi nettement arrêté. On défonce ensuite le sol, et on lui donne en même temps le profil désiré.

La construction telle que nous venons de la décrire a été indiquée par Keelhoff pour les prairies submergées de la Campine (Belgique) établies sur un sol perméable. On s'en écarte plus ou moins dans d'autres pays.

C'est ainsi que, souvent, on se contente d'égaliser le terrain sans chercher à le rendre rigoureusement horizontal dans le sens de la longueur.

(1) Voy. à ce sujet les notions de nivellement que nous exposons plus loin à propos du *Drainage*.



Parfois aussi le canal médian, *g*, ne sert qu'à l'amenée des eaux ; ses crêtes dépassent alors légèrement le sol de la prairie dont la pente transversale est dirigée vers les diguettes parallèles à ce canal. Dans ce cas, on les flanque, à l'intérieur des compartiments, de canaux de colature qui servent à l'assèchement du pré. Les compartiments conservent la pente naturelle du sol dans le sens de leur longueur, pourvu qu'elle demeure faible.

Avantages et inconvénients de l'irrigation par submersion artificielle simple. — Elle permet d'arroser des surfaces dont la pente est à peine sensible avec des quantités d'eau trop faibles pour être utilisées autrement. Elle transforme en terres fertiles des sols médiocres, lorsqu'ils sont suffisamment perméables et que l'eau contient des limons riches en principes utiles.

Son établissement et son entretien sont très simples et peu coûteux. Elle utilise les cours d'eau dont on ne peut disposer qu'au moment des fortes crues et permet de profiter alors de leurs dépôts souvent très riches ; c'est la seule méthode d'irrigation qui s'accommode du pâturage.

L'eau soustrait les plantes à l'action de la gelée. Elle détruit les animaux nuisibles et les plantes telles que les bruyères et les mousses. Elle permet également la culture arable et la prairie. Elle est particulièrement précieuse pour transformer par le colmatage en terres fertiles des sols graveleux ou caillouteux.

D'autre part, elle rend les fourrages mous. Leur qualité est toujours inférieure à celle du foin récolté sur des prés irrigués à l'eau courante. En sol imperméable, elle ne donne que de mauvais résultats. Elle ne peut être appliquée que très rarement au moment de la végétation. Pendant toute sa durée, elle empêche l'aération du sol. Enfin elle ne convient pas à toutes les plantes. C'est ainsi que les légumineuses s'en accommodent mal. Elles cèdent le pas aux graminées.

L'irrigation par submersion est surtout employée dans la culture du riz. En France, on l'applique aux prairies, aux vignes qu'elle protège efficacement contre le phylloxera. En outre, elle peut leur apporter des limons fertilisants.

Manière de donner l'eau. — On ferme la buse placée à



l'extrémité de la rigole d'écoulement, et on ouvre celle d'amont. Dès que l'eau a atteint la hauteur voulue, on réduit l'ouverture de la buse d'introduction. Les arrosages s'exécutent au printemps et à l'automne. On en limite la durée et le nombre suivant la nature du sol et l'état de la végétation. Un arrosage prolongé lorsque la végétation est en activité la détruirait promptement. En automne et en hiver, on peut arroser pendant quinze jours et même un mois. Mais, dès que la végétation reprend, il ne faut donner l'eau que pendant très peu de temps, vingt-quatre heures au plus. En été, il suffit de remplir les rigoles pour entretenir l'humidité.

3° Submersion artificielle avec écoulement continu. — Quand on dispose d'une grande quantité d'eau, son écoulement peut être continu, les dispositions précédemment décrites demeurant les mêmes.

L'eau d'arrosage, après avoir atteint le niveau normal dans le compartiment irrigué, s'écoule lentement sur le bief inférieur. Elle est remplacée par de l'eau fraîche, le niveau restant constant. Ce procédé prive moins d'air les plantes que la stagnation complète de l'eau.

Le mouvement est réglé de telle sorte que toute quantité qui sort du bassin de tête est remplacée par l'arrivée d'une égale quantité d'eau nouvelle. C'est une pratique de tous points analogue à celle dont nous parlerons à propos du colmatage. Il est clair que l'on arrive ainsi très rapidement à des résultats importants quand on peut disposer d'une grande quantité d'eau chargée de limons.

Il est bon de pouvoir envoyer de l'eau fraîche sur chacun des compartiments de la submersion. On y arrive en disposant autour du champ à arroser un canal de ceinture. La vanne du bas de chacun des compartiments ne doit pas laisser la vidange s'opérer au-dessous d'elle. L'eau doit s'écouler par le *haut*, afin qu'elle n'entraîne pas les sédiments qui se déposent. Afin que l'assèchement du terrain s'exécute le plus complètement possible, le sol est parcouru par un réseau de fossés qui facilitent le départ complet de l'eau. Les bassins sont en général de dimensions supérieures à celles des bassins de submersion simple. Ils recouvrent de 50 à 100 hectares, quelquefois davan-

tage. Leur longueur dépend évidemment de la pente du sol. La profondeur de l'eau dans les bassins dépend aussi de la pente

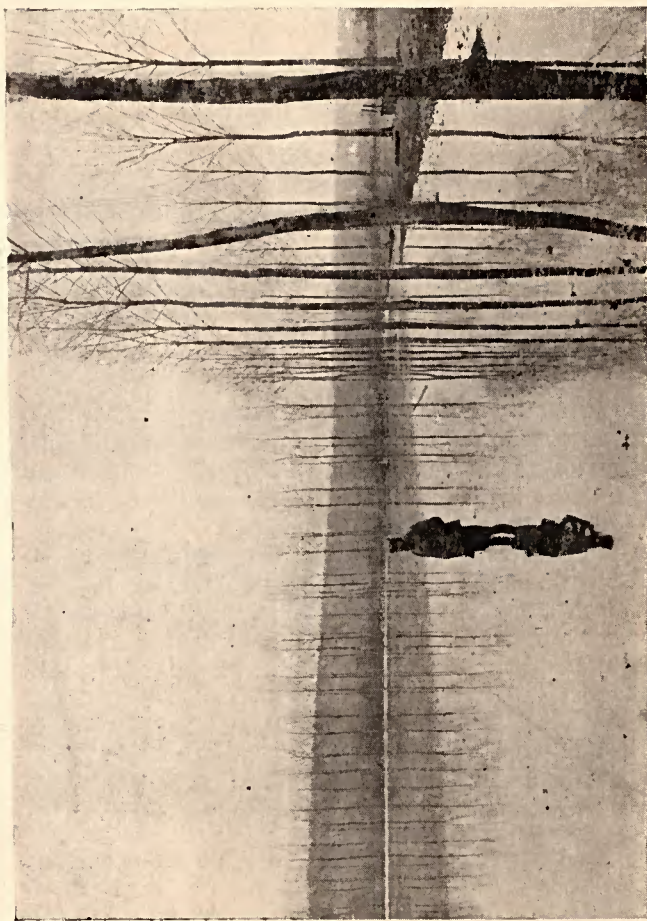


Fig. 65. — Irrigation par submersion. Exploitation de M. P. de Malliard. Vue de la prairie submergée.

des terrains. Elle est en moyenne de $0^m,15$ à $0^m,35$ aux endroits les plus profonds, elle peut atteindre $0^m,50$. Si la pente est très

forte, il est bon de disposer obliquement des digues intérieures qui ralentissent la vitesse de l'eau et empêchent l'érosion du sol. Les digues qui bordent les bassins ont environ 1^m,50 de large à leur couronnement et sont élevées à 0^m,30 à 0^m,40 au-dessus du niveau des eaux.

3. — Irrigation par infiltration.

Ce système comprend deux subdivisions ou méthodes.

1^o Infiltration de l'eau dans le sol par rigoles profondes. — C'est un procédé très imparfait au point de vue des résultats, mais très simple et très économique. Il emploie les fossés qui ont été tracés dans la prairie pour son assainissement. Dans des terrains tourbeux de faible pente, humide en hiver, mais qui seraient, une fois desséchés, trop secs en été, cette méthode rend des services. Elle consiste essentiellement à fermer successivement les vannes qui commandent les différents canaux et fossés d'assèchement. L'eau qui provient de l'égouttage des terres, des pluies ou des sources monte ainsi, peu à peu, dans ces canaux. Si le sol s'y prête, elle l'humecte en traversant les parois latérales des fossés. Par capillarité, elle peut atteindre jusqu'aux racines.

Ce procédé n'est réalisable que si le terrain est assez perméable et s'il n'offre qu'une faible pente. Il faut en effet que, d'un côté, l'eau puisse humecter le sol sans qu'il soit nécessaire d'élever beaucoup son niveau, et que, de l'autre, en cas de fortes pluies, au moment de la récolte, l'assèchement puisse rapidement s'effectuer.

En sol peu perméable, les résultats sont médiocres : l'eau s'élève bien dans les rigoles, mais elle ne parvient pas à s'infiltrer suffisamment dans les terres. Il faudrait que des fossés soient très rapprochés, et alors on perdrait beaucoup de terrain. En somme, ce système est applicable surtout aux prés situés sur des sols perméables doués de peu de pente, exposés au soleil, où l'eau baigne le sous-sol.

La figure 66 montre la disposition des canaux *a*, *a*, *b*, *b*, et celle de la vanne *d*, qui, lorsqu'elle est fermée, amène le refoulement de l'eau. L'eau s'élève de proche en proche dans les



fossés et pénètre peu à peu dans le sol. En ouvrant la vanne, on détermine au contraire son écoulement et l'assèchement de la prairie.

2° Infiltration de l'eau par rigoles ouvertes superficielles. — Cette méthode s'applique surtout aux cultures en terres labourées, entre autres aux cultures maraîchères. C'est la seule que l'on puisse recommander lorsqu'il s'agit

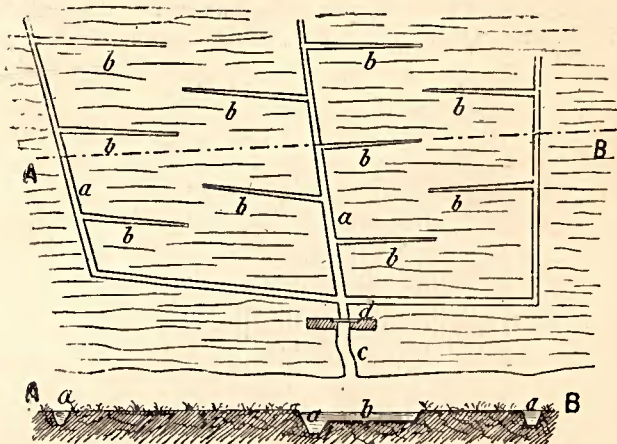


Fig. 66. — Disposition pour humecter un terrain drainé à ciel ouvert, irrigation par infiltration.

d'utiliser les eaux d'égout ou certaines eaux résiduaires. Elle diffère essentiellement de la précédente en ce que les rigoles sont beaucoup plus rapprochées, qu'elles sont superficielles, et qu'enfin l'eau pénètre dans le sol et le sous-sol par les parois latérales et le plafond. Aussi son action est-elle autrement efficace. Elle est souvent appelée *irrigation à la raie*.

L'eau circule donc dans des rigoles parallèles. Ces petits canaux limitent les étroites planches ou les billons qui portent les cultures. Elle pénètre par infiltration jusqu'aux racines. Normalement, elle ne doit toucher ni les feuilles, ni les tiges. C'est pour cette raison que l'on applique cette méthode pour l'utilisation des eaux d'égout dans la culture maraîchère. Les

eaux résiduaires laissent au sol les principes fertilisants dont elles sont chargées. Comme elles n'entrent en contact ni avec les feuilles, ni avec les tiges, elles ne peuvent contaminer cette partie des végétaux, qui est destinée à l'alimentation. Il faut dire cependant que, durant ces dernières années, à tort ou à raison, on a reproché aux eaux d'égout d'atteindre, malgré tout, les parties aériennes des légumes cultivés dans les champs d'épandage et d'y déposer les dangereux germes des maladies microbiennes. Quoi qu'il en soit, la méthode d'irrigation par

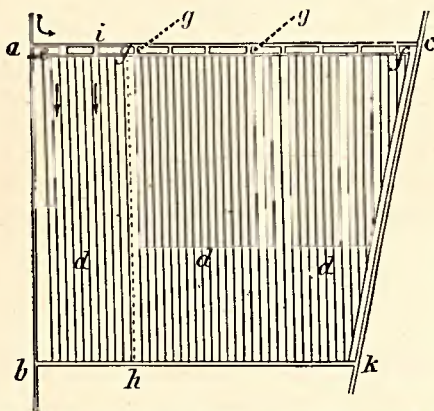


Fig. 67. — Irrigation à la raie. — Disposition des rigoles.

infiltration est celle qui offre évidemment le plus de garanties lorsqu'il s'agit d'utiliser des eaux chargées de matières organiques et de microbes.

Elle s'applique avec succès aux cultures de plantes telles que les betteraves, les pommes de terre, les divers légumes. Elle est d'autant plus efficace que les raies sont plus rapprochées. Celles-ci sont tracées à la charrue. Elles sont éloignées de 0^m,66 à 0^m,80, de manière à former, après le buttage, les petits sillons ou billons sur lesquels sont cultivés les pommes de terre, le maïs ou les betteraves. Les plantes potagères occupent de petites planches de 1^m,50 à 2 mètres de largeur. Les raies sont peu profondes, de manière à permettre aux eaux d'irri-



gation d'atteindre facilement la partie active des racines.

Les figures 67 et 68 montrent comment est disposé le sol. La ligne *ab* (fig. 67) représente le canal d'amenée ; *ac* le canal d'arrosage du champ *ackb* ; *d, d* désignent les raies. Celles-ci n'aboutissent pas au canal *ac*. Les curages que nécessite le fonctionnement du système détérioreraient vite ce canal, qui est permanent et qui doit être tracé avec soin. Elles s'amorcent à une rigole auxiliaire *ef* qui est alimentée par le canal *ac* à l'aide des petites coupures désignées par la lettre *g*. Ce canal auxiliaire est tracé à la charrue et terminé soigneuse-

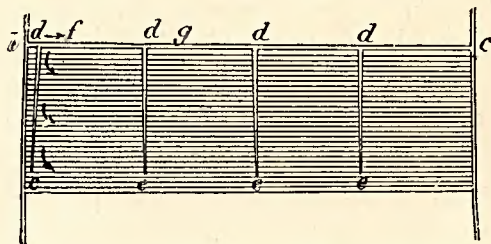


Fig. 68. — Irrigation à la raie. — Autre disposition des rigoles.

ment à la pelle. Il est large et profond de 10 centimètres environ. Sa durée est limitée à celle de la culture.

On irrigue le champ par parties plus ou moins considérables, suivant la quantité d'eau disponible. A cet effet, on place en *i* une vanne mobile, et on ferme en *g* la rigole *ef* à l'aide d'un petit barrage en terre ou d'une vanne mobile. L'eau arrive dans la rigole *ef* par les deux premières coupures. De là elle pénètre dans les raies et arrose toute la partie *abgh*. Cette surface étant arrosée, on répète la même opération sur une surface voisine, et ainsi de suite jusqu'à ce que tout le champ soit arrosé.

Afin d'éviter les ravinements qui sont l'un des inconvénients de ce procédé d'irrigation, si le terrain a une forte pente, on dispose les raies transversalement à la plus grande pente, parallèlement à la rigole d'arrosage *bc* (fig. 68). Cette rigole est alors coupée de place en place par des rigoles secondaires *de, de*, qui, d'abord très larges (0^m,50), vont en s'amincissant vers l'ex-



trémité. A l'aide de manœuvres, que les explications précédentes et la figure 68 permettent de deviner, chaque rigole de irrigue tout le terrain qui est à sa droite.

4. — Drainage et irrigation combinés.

Méthode de Petersen. — L'agronome allemand Petersen imagina, vers 1860, une combinaison particulière du drainage et de l'irrigation qui fit grand bruit. On vit dans le nouveau procédé le moyen d'apporter aux prairies non seulement les bienfaits d'un arrosage parfait, mais encore ceux d'une aération très énergique, éminemment favorable à la fertilité de ces terres riches en matières organiques. On prétendit que le système Petersen permettait d'utiliser à sa plus haute puissance l'action fertilisante de l'eau et de développer au maximum la production des prés. L'expérience a montré que cette méthode donne, en effet, de très remarquables résultats. Mais la production intensive qu'il procure ne peut se maintenir qu'en restituant au sol par des engrais les éléments qui lui sont enlevés et que les eaux ne suffisent pas à lui rendre.

Le principe de la méthode consiste à établir simultanément, dans la prairie, l'irrigation et le drainage, de telle sorte qu'ils soient indépendants l'un de l'autre et que l'on puisse à volonté faire fonctionner l'un ou l'autre.

En fait, leur fonctionnement est alternatif.

L'irrigation ayant été interrompue et le drainage ayant agi pendant un certain temps, le terrain étant alors parfaitement assaini, on met le drainage dans l'impossibilité de fonctionner ; on le *ferme*, comme nous le verrons tout à l'heure. Puis on arrose, on *ouvre* l'irrigation. Dès que les drains sont remplis, comme ils ne peuvent plus se vider, l'eau ne peut pénétrer davantage dans le sol ; elle coule en nappe à sa surface comme elle le ferait sur une prairie à sous-sol à peu près imperméable. Les gazons profitent donc alors de l'eau à la manière ordinaire. En outre, l'eau contenue dans le sol, en amont du collecteur, a une tendance à remonter vers la surface. Elle pénètre intimement la terre qui s'en imbibe. Puis, au bout du temps con-



venable, on *arrête* l'irrigation, et simultanément on rétablit le drainage, on l'*ouvre*. La nappe d'eau qui coulait à la surface pénètre alors dans le sol, portant dans sa profondeur la fraîcheur et les matières fertilisantes qu'elle contient. En outre, au fur et à mesure qu'elle s'abaisse dans les interstices du sol pour gagner les drains, elle produit à la surface de la prairie un appel d'air, une succion, qui entraîne les gaz atmosphériques jusque dans les couches profondes. A leur faveur se produisent ces oxydations si nécessaires à la mise en valeur de la

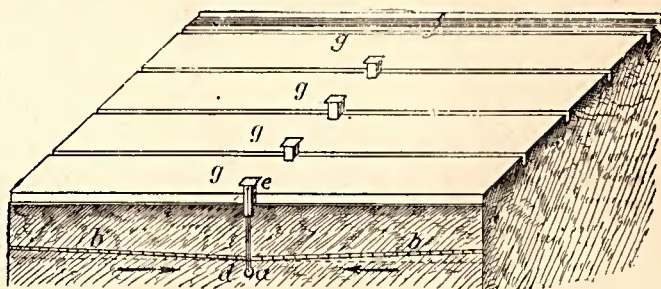


Fig. 69. — Irrigation suivant le système de Petersen.

f, canal d'amenée ; *g*, rigole d'arrosage ; *b, b*, ligne de drains ; *a*, section du collecteur principal ; *d*, appareil de fermeture ; *e*, regard pour manœuvrer.

fertilité des sols riches en azote, comme le sont généralement les terres de prairies. On réitère ensuite l'arrosage, et ainsi de suite, et les mêmes effets se reproduisent. Ainsi non seulement l'eau ruisselle à la surface du pré, comme dans l'irrigation ordinaire, mais elle pénètre dans l'intérieur du sol, entraînant l'air extérieur.

La figure 69 fait comprendre comment est réalisé le système Petersen : *f* est le canal de distribution de l'eau ; *g, g* représentent les rigoles horizontales d'arrosage ; *b, b* les drains souterrains qui viennent se réunir dans le collecteur principal *a*, dirigé suivant la plus grande pente du sol. Aux points de rencontre de lignes de drains espacés d'une cinquantaine de mètres, avec le collecteur, se trouve un appareil de fermeture *d*, que l'on peut manœuvrer de l'extérieur à l'aide d'un méca-

nisme contenu dans le regard *c*. La figure 70 représente la disposition qui a été imaginée par le Dr Schacht et qui a remplacé plusieurs systèmes anciens. La cheminée de cet appareil

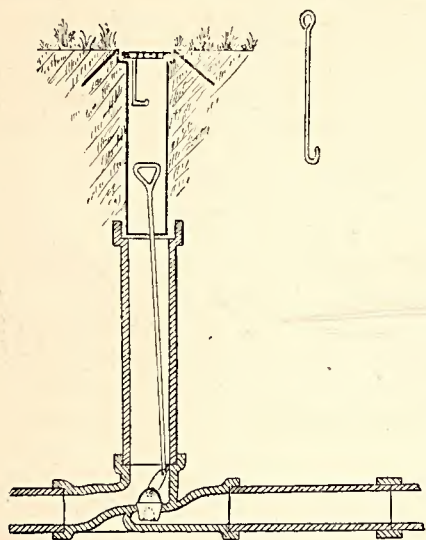


Fig. 70. — Appareil de fermeture des collecteurs (système Schacht).

aboutit, en haut, soit à une rigole d'arrosage, soit un peu en amont.

Les drains ne doivent pas être distants de plus de 12 mètres; on détermine leur profondeur d'après les principes ordinaires; mais on les place généralement à 1^m,25 au-dessous de la surface du sol. Lorsqu'il n'y a que peu ou pas d'eau de fond, leur diamètre est de 4 centimètres pour les premiers 30 mètres et de 5 centimètres pour le reste de leur

parcours. Ils ont de 2 à 3 p. 1 000 de pente. Quant à la section des collecteurs, on la détermine d'après les principes que nous énoncerons dans la troisième partie de ce volume, à propos du drainage. Les joints du collecteur sont cimentés sur quelques mètres avant et après l'appareil de fermeture.

La figure 71 représente la coupe d'une prairie suivant le collecteur. La distance *l* qui sépare les appareils de fermeture est de 50 mètres pour les terrains de faible pente. La différence de niveau entre deux soupapes consécutives ne doit pas dépasser 0^m,50 en terrain de forte pente.

Le système Petersen a d'autres avantages encore que ceux de donner à l'action de l'eau le maximum d'intensité et d'aérer

fermeture coûtent de 15 à 20 francs. L'entretien n'est pas très cher. Il doit être très régulier. La méthode emploie relativement peu d'eau pour obtenir des effets très intensifs et surtout remarquables dans les terrains imperméables, tourbeux. Son application n'empêche pas la circulation des voitures ni celle des machines agricoles. Malgré tout l'intérêt qu'elle présente, son emploi s'est moins répandu qu'on l'avait d'abord pensé. Il semble que, dans certains cas, elle devrait cependant être essayée et qu'elle pourrait donner des résultats très intéressants.

CHAPITRE VII

RÉPARTITION DE L'EAU.

Un canal capable d'un certain débit court le long et en haut d'une prairie; rien de plus facile au premier abord que d'arroser le pré avec cette eau. Mais, si l'on serre la question, on s'aperçoit vite qu'elle énonce un problème très délicat. Il ne faut pas seulement que le terrain reçoive la quantité d'eau nécessaire, qu'elle lui parvienne partout en égale quantité, il faut encore que cette eau lui soit dispensée avec économie, qu'il ne s'en perde pas trop ni par ruissellement, ni par pénétration dans le sous-sol; il faut qu'elle court sur le pré le plus vite possible, sans cependant qu'elle le dégrade.

La dose et la durée de l'arrosage, les dimensions des planches, etc., sont des facteurs qu'il faudrait pouvoir déterminer *a priori*. Dans cet ouvrage élémentaire, nous devrions sans doute nous borner aux seuls faits consacrés par la pratique et ne recommander que des règles pour ainsi dire classiques. Or, il s'agit ici de questions qui sont loin d'être résolues. Mais elles ont une importance si grande que nous croyons devoir sortir cette fois de notre réserve en prévenant le lecteur que notre but est surtout d'attirer son attention sur un chapitre encore obscur; qu'il ne doit accueillir cette partie de notre volume qu'avec les restrictions qu'ont formulées eux-mêmes les ingénieurs et les agronomes dont nous allons exposer les idées.

M. Aug. Friedrich, professeur à l'École supérieure d'agriculture de Vienne, a publié, dans la dernière édition de son ouvrage : *Kulturtechnischer Wasserbau*, des considérations intéressantes sur le sujet. Et, en France, M. Crevat a entrepris, avec l'aide du Service des Améliorations agricoles, des expériences remarquables. Les unes et les autres mettent la question en plein jour. Mais elles appellent encore certaines



réserves. Elles reposent surtout sur l'étude de la perméabilité des terres, étude qui semble former la clef de voûte de l'art des drainages et des irrigations. M. Friedrich et M. Crevat basent en effet leurs calculs sur le coefficient d'absorption, déterminé sur le terrain, en entourant une aire déterminée d'un cercle de fer dont les bords sont assez élevés pour contenir une colonne d'eau plus ou moins haute. Nous avons déjà dit combien l'application de cette méthode est délicate.

MM. Müntz, Faure et Lainé s'en servent dans les expériences qu'ils ont entreprises en France et dont nous avons parlé. Ils l'ont perfectionnée. Nul doute que leurs procédés ne permettent d'introduire plus de précision dans les recherches que nous allons décrire.

Voici d'abord, d'après M. Friedrich, les relations qui lient entre elles les surfaces irriguées, les durées des arrosages, les quantités d'eau et le coefficient d'absorption.

A. Méthode de Friedrich. — 1^o Irrigations par submersion. — Soient :

T_1 , le temps nécessaire pour remplir le bassin, en jours ;

T_2 , le temps pendant lequel il reste rempli, en jours ;

S , sa surface en mètres carrés ;

h , la hauteur de l'eau en mètres ;

k , la quantité d'eau qui s'infiltre par jour en mètres et par mètre carré ;

Q , la quantité d'eau totale nécessaire pour amener l'eau à la hauteur h dans le bassin ;

Q_1 , la quantité d'eau nécessaire pour remplir le bassin ;

Q_2 , la quantité d'eau qui se perd durant le remplissage par infiltration ;

Q_3 , la quantité d'eau qui se perd par évaporation pendant le temps où le bassin est rempli ;

Q, Q_1, Q_2, Q_3 sont exprimées en mètres cubes ;

e , la hauteur d'eau évaporée par jour exprimée en mètres (varie entre 0^m,01 et 0^m,025).

On a d'abord :

$$(1) \quad Q = Q_1 + Q_2, \quad Q_1 = Sh, \quad Q_2 = \frac{1}{2} ST_1 k,$$

$$Q = \frac{1}{2} ST_1 k + Sh = S \left(\frac{T_1 k}{2} + h \right).$$

Si q désigne la quantité d'eau à donner par seconde et t le nombre de secondes nécessaires pour emplir le bassin, on a :

$$qt = S \left(\frac{kT_1}{2} + h \right); \text{ ou, car } t = 24 \times 60 \times 60 \times T_1,$$

$$q \times 24 \times 60 \times 60 \times T_1 = S \left(\frac{kT_1}{2} \times h \right), \quad q = \frac{S}{86400} \left(\frac{k}{2} \times \frac{h}{T_1} \right);$$

$$(2) \quad q = 0,000414 S \left(\frac{k}{2} + \frac{h}{T_1} \right) \text{ en mètres cubes par seconde.}$$

Pendant que le bassin reste rempli, il faut couvrir deux pertes d'eau : 1° celle qui se produit par infiltration ; 2° celle qui se produit par évaporation. La première a pour mesure :

$$ST_2k;$$

la deuxième :

$$ST_2e;$$

donc

$$(3) \quad Q_3 = (Sk + e)T_2.$$

Si q' désigne la quantité d'eau nécessaire à couvrir cette perte par seconde, on a :

$$(4) \quad q' = \frac{S}{86400} (k + e) = 0,0000111 S (k + e) \text{ mètres cubes par seconde.}$$

Si l'on transforme en hectares la surface exprimée ici en mètres carrés, on a, S' désignant maintenant des hectares :

$$(5) \quad q = 0,111 S' \left(\frac{k}{2} + \frac{h}{T_1} \right) \text{ mètres cubes par seconde.}$$

$$(6) \quad q' = 0,111 S' (k + e) \text{ mètres cubes par seconde.}$$

Enfin, pour examiner le cas de la submersion avec renouvellement d'eau, supposons qu'il s'agisse de remplir n fois le bassin durant le temps T_2 . Quelle quantité d'eau Q_4 faudra-t-il? D'abord de quoi faire face aux pertes par infiltration et évaporation durant ce temps (T_2), puis à la quantité d'eau nécessaire pour remplir n fois le bassin, soit $nS'h$. On aura donc :

$$(7) \quad Q_4 = S' [(k + e)T_2 + nh].$$

Et si q'' est la quantité d'eau qu'il faudra donner par seconde :

$$(8) \quad q'' = 0,111 S' \left(k + e + \frac{nh}{T_2} \right) \text{ en mètres cubes par seconde.}$$

APPLICATIONS. — Soit un bassin de submersion de 8 hectares de superficie où l'eau doit avoir une profondeur moyenne de 0^m,30. Le canal dont on dispose pour le remplir et l'alimenter a un débit de 20 litres à la seconde et à l'hectare ; l'infiltration est de 0^{mc},12 par jour et par mètre carré ; l'évaporation est évaluée à 0^m,01 par jour.

Combien de temps demandera le remplissage de ce bassin ?

L'équation (6) donne :

$$0,200 = 0,111 \times 8 \left(\frac{0,12}{2} + \frac{0,30}{T_1} \right),$$

D'où

$$T_1 = 1 \text{ jour } 8 = 1 \text{ jour } 11 \text{ heures.}$$



2° Une fois le bassin rempli, combien faudra-t-il donner d'eau pour maintenir la hauteur de l'eau à 0^m,30?

L'équation (6) donne : $q' = 0,111 \times 8 (0,12 + 0,01),$
 $q' = 0,115.$

Ainsi on pourra réduire le débit de 200 litres à 115 ou 120 litres environ.

3° Combien faudra-t-il donner d'eau afin que non seulement elle reste dans le bassin à une hauteur constante pendant les six jours qui suivront le remplissage, mais encore pour que, durant ce temps, elle se renouvelle deux fois?

L'équation (8) résout cette question :

$$q'' = 0,111 \times 8 \left(0,12 + 0,01 + 2 \cdot \frac{0,39}{6} \right),$$

$$q'' = 0^{\text{m}},204 \text{ à la seconde.}$$

2° **Irrigation par ruissellement.** — Il y a deux phases dans l'irrigation par ruissellement : 1° l'eau part du sommet de la planche, se dirige vers sa partie inférieure et l'atteint ; 2° le régime étant établi, l'eau pénètre dans le sol, et son excédent quitte la planche arrosée.

Établissons le lien qui relie entre eux les facteurs suivants :

q , quantité d'eau donnée par seconde à la surface irriguée ; elle est exprimée en litres ;

t , temps, exprimé en secondes ;

L , longueur de la planche en mètres ;

l , largeur de la planche en mètres ;

h , la hauteur moyenne de la couche d'eau qui circule sur la planche, exprimée en mètres ;

k , le coefficient d'absorption, quantité d'eau absorbée par seconde par 1 mètre carré de terrain, exprimée en mètres ; elle est déterminée comme nous l'avons dit précédemment.

La quantité d'eau consommée pendant la première phase est égale en litres à :

$$1\,000 \times L \cdot l \cdot h.$$

La quantité moyenne d'eau absorbée pendant la deuxième phase de l'irrigation peut être évaluée en litres, d'après M. Friedrich, à :

$$\frac{1\,000 \cdot L \cdot l \cdot k \cdot t}{2}.$$

Car la partie inférieure de la planche reçoit pendant le temps t moins d'eau que la partie supérieure.

La quantité d'eau totale à fournir pendant le temps sera donc égale à :

$$1\,000 \left(L \cdot l \cdot h + \frac{L \cdot l \cdot k \cdot t}{2} \right).$$



Et l'on aura :

$$qt = 1\,000 \left(L. l. h + \frac{L. l. k. l}{2} \right).$$

D'où

$$(9) \quad t = \frac{1\,000 L. l. h}{q - 500 L. l. k}.$$

La valeur de h dépend de la pente de la planche et de l'état de sa surface. M. Friedrich l'estime à 0^m,010 pour la pente minima de 2,5 p. 100 et une surface bien aplanie ; à 0,025 pour des pentes plus faibles et des surfaces moins régulières ; à 0,050 pour des terres arables.

Quant à la seconde phase de l'irrigation, durant laquelle l'écoulement permanent de l'eau est établi, M. Friedrich la caractérise par la formule suivante :

$$(10) \quad q = 1\,000 L. l. k + \frac{1}{n} q.$$

Elle indique qu'une fraction constante de l'eau d'arrosage, celle qui n'a pas pénétré dans le sol, s'écoule au dehors de la planche.

La valeur de n varie avec l'intensité de l'irrigation. Elle est égale à 10 pour les irrigations de simple fraîcheur, à 4 pour un arrosage de force moyenne, à 2 pour un arrosage énergique.

APPLICATIONS NUMÉRIQUES. — Les applications numériques qui suivent montreront l'intérêt pratique de ces deux formules :

1° *Calculer la largeur que doit avoir une planche irriguée, en vue de l'arrosage simple, la longueur de la rigole de déversement de l'eau étant de 30 mètres et la quantité donnée de 1 litre par seconde pour la surface de la planche. La perméabilité k du sol est supposée permettre une pénétration de l'eau de 0^m,004 par seconde et par mètre carré : $n=10$. L'égalité (10) permet d'écrire :*

$$1 = 30.l \times 0,004 + \frac{1}{10} \times l,$$

d'où

$$l = 7^m,50.$$

2° *Après combien de temps l'eau atteint-elle le bord de la planche? L'égalité (9) donne :*

$$t = \frac{1\,000 \times 30 \times 7,5 \times 0,01}{1 - 500 \times 30 \times 7,5 \times 0,000\,004} = 4\,363'' = 1\,h.12'.$$

Ainsi le régime permanent de l'arrosage s'établira au bout d'une heure environ, en supposant la planche bien construite.

3° *On suppose que la consommation journalière de l'eau soit de 0^m,004. Combien de temps faudra-t-il donner l'eau, dans les conditions précédentes, afin que le sol emmagasine une provision suffisante pour faire face aux besoins de dix jours?*

La provision d'eau correspond à une hauteur de 0^m,004 $\times$ 10 = 0^m,04 ;

or, la terre absorbe $0^{\text{m}},000004$ par seconde; donc il faudra, pour l'absorption de la colonne d'eau de $0^{\text{m}},04$, un temps égal à $0,0000004 = 10\,000$ secondes ou deux heures quarante-six minutes; soit en tout trois heures quarante-six minutes, puisque le régime permanent ne s'établit qu'au bout d'une heure.

4° *Quelle devra être la quantité d'eau donnée par seconde à cette planche pour qu'elle reçoive une forte irrigation correspondant pour n à la valeur 2?*

L'égalité (10) devient ainsi :

$$\begin{aligned} q &= 30 \times 7,5 \times 0,004 + 0,5 \times q, \\ q &= 1,8, \end{aligned}$$

soit par hectare et par seconde :

$$\frac{1,8 \times 10\,000}{225} = 80 \text{ litres.}$$

5° *Supposons que les données précédentes restent les mêmes, mais que $k=0^{\text{mm}},008$ au lieu de $0^{\text{mm}},004$. Dans quelles conditions s'effectuera l'arrosage?*

L'eau, pour atteindre le bas de la planche, mettra :

$$t = \frac{1000 \times 30 \times 7,5 \times 0,01}{1 - 30 \times 30 \times 7,5 \times 0,000\,008} = 22\,500'' = 6 \text{ heures.}$$

Pour qu'une colonne d'eau de $0^{\text{m}},05$ correspondant à l'approvisionnement de dix jours s'infilte dans le sol, en supposant $k=0^{\text{mm}},008$, il faudra que l'arrosage se poursuive pendant un temps t' égal à :

$$t' = \frac{0^{\text{m}},05}{0^{\text{m}},000\,008} = 6\,250'' = 1 \text{ h. } 45'.$$

Les valeurs de t et de t' montrent que l'arrosage s'effectuera d'une manière irrationnelle. La quantité d'eau théoriquement nécessaire est de $30 \times 7,5 \times 0^{\text{m}},05 = 11^{\text{m}},25$; or, on emploiera un volume d'eau égal à :

$$3\,600 \left(6 + 1\frac{3}{4} \right) = 27^{\text{m}},7.$$

En outre, la partie supérieure de la planche recevra beaucoup plus d'eau que la partie inférieure.

Avec cette nouvelle valeur de k , pour rester dans des conditions rationnelles, il faudra modifier le débit q , donner, par exemple, 2 litres à la seconde pour la surface en question au lieu de 1 litre. On aura alors :

$$t = \frac{2 \times 30 \times 7,5 \times 10}{4 - 30 \times 7,5 \times 0,008} = 2043'' = 34'.$$

La durée totale de l'arrosage ne sera plus que de 1 h. $3/4 + 1/2$ heure environ, soit 2 h. $1/4$; la quantité d'eau dépensée : $3\ 600 \times 2,25 \times 2 = 16^{\text{m}},2$, et la répartition de l'eau à la surface de la planche sera devenue bien meilleure.

Ces exemples montrent que, si ces formules ne sont pas encore précises, elles *permettent au moins* d'envisager sous un jour nouveau les problèmes qui se posent à propos des quantités d'eau d'arrosage et de la durée des arrosages. Nous verrons plus loin que M. Crevat a exploré encore plus loin le terrain.

M. Friedrich donne dans son ouvrage deux tables qui ont été calculées avec les formules précédentes. Nous donnons ci-dessous la première, qui résulte de l'application de l'égalité :

$$q = 1\ 000\ \text{L. l. } k + \frac{1}{n} q.$$

Quantités d'eau nécessaires en litres par seconde et par hectare pour arroser par ruissellement des sols dont le coefficient de perméabilité varie de 0,001 à 0,010.

COEFFICIENT de perméabilité du sol en millimètres par seconde et par mq.	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009	0,010
<i>Quantités d'eau nécessaires par hectare et par seconde.</i>										
Humectation simple.....	22	22	35	45	55	65	80	90	100	110
Ruissellement faible.....	15	30	40	55	65	80	95	105	120	135
Ruissellement fort.....	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
Ruissellement très fort.....	40	80	120	160	200	240	280	320	360	400

La seconde table indique le temps nécessaire à la répartition de l'eau sur des planches de différentes largeurs.

B. Méthode de M. J. Crevat. — M. J. Crevat (1), le distingué agronome et praticien de la Biolière (Ain), avec la collaboration de M. Carrier, inspecteur général des Améliorations agricoles, a exécuté en 1906 des recherches très intéressantes, qui serrent de très près les problèmes que soulèvent les irrigations. Comme M. Crevat le dit lui-même, ces recherches visent surtout les arrosages de simple humectation des prairies de son domaine. Il s'agit de sols plus ou moins perméables, reposant sur une épaisse couche de gravier. Les expé-

(1) CREVAT, *Les conditions d'irrigation rationnelle*, Paris, 1907.



riences de M. Crevat devront donc être répétées dans des conditions variées avant que l'on puisse généraliser leurs conséquences. Toutefois, M. Crevat a formulé une théorie qui, dès à présent, trouve au moins sa vérification sur les lieux mêmes où elle a été élaborée.

Quoique les principes qu'il a énoncés puissent s'appliquer à tous les genres d'irrigation par ruissellement, il a eu surtout pour objectif l'irrigation suivant la méthode méridionale des *calants* (Voy. p. 250).

Les expériences que M. Crevat a faites en collaboration avec M. Carrier sur la détermination de la vitesse du ruissellement lui ont permis d'établir une formule relativement simple qui relie la longueur des planches arrosées à la dose d'arrosage, à la pente du terrain et à son coefficient d'absorption. En laissant deux facteurs constants et en faisant varier l'autre, elle permet d'analyser l'influence successive de chacun d'eux sur la longueur des planches. Enfin, comme toutes les quantités sont liées entre elles, soit par des relations qui traduisent les définitions elles-mêmes, soit par la formule dont nous avons parlé, il est facile de calculer les unes et les autres. On doit faire intervenir dans ces calculs certains coefficients de correction que M. Crevat a déterminés. Il a d'ailleurs dressé des tableaux qui peuvent servir de modèles pour des recherches du même ordre et qui permettent d'arriver promptement aux solutions. Voici les définitions des différents facteurs que M. Crevat appelle les *conditions rationnelles de l'arrosage*.

DOSE THÉORIQUE D'ARROSAGE. — *C'est, d'après M. Crevat, le nombre de litres d'eau que peut absorber et retenir 1 mètre carré de terrain sans en laisser perdre dans le sous-sol.* M. Crevat estime que, sur ses terres de bonne qualité de la Biollière, à sous-sol perméable, le sol doit être trempé jusqu'à 0^m,50 de profondeur et qu'une couche d'eau d'arrosage bien uniforme humectera jusqu'à cinq fois son épaisseur. Il faudra donc, théoriquement, que la couche d'eau d'arrosage atteigne 0^m,10, ce qui correspond à 100 litres par mètre carré et à $100 \times 10\,000 = 1\,000$ mètres cubes par hectare. Pour les sols de mauvaise qualité, secs et graveleux, n'ayant que 0^m,25 de profondeur, il suffirait de 0^m,05, soit 50 litres par mètre carré ou 500 mètres cubes par hectare.

COEFFICIENT D'ABSORPTION DES TERRES. — *C'est le nombre de litres d'eau que le terrain peut absorber par mètre carré et par minute, lorsqu'il reçoit sa dose théorique d'arrosage sous forme d'une mince couche d'eau coulant à sa surface.*

M. Crevat le détermine en encerclant une surface de terrain bien horizontale, de 2 mètres carrés au moins. Elle doit être naturellement choisie en un endroit qui n'a pas été labouré depuis un an ou deux. Le cercle de fer qui la délimite dépasse le sol de 5 centimètres, et il y pénètre d'autant. Après avoir légèrement arrosé le pourtour pour prévenir les infiltrations latérales et l'avoir garni de terre comprimée pour éviter les fuites, on verse doucement à l'intérieur, en quelques minutes, la dose d'arrosage convenable, et l'on constate en combien de minutes elle est totalement absorbée. On en déduit le coefficient d'absorption. Celui-ci varie naturellement beaucoup avec les différents



sols ; très faible dans les terres fines, compactes et profondes, il est très fort dans les sols sablonneux. M. Crevat estime qu'il peut varier entre 0,1 et 100 litres ; et chez lui, dans des sols de même origine, il a constaté des variations de 1 à 20 litres.

DURÉE THÉORIQUE DE L'ARROSAGE. — *C'est le temps exprimé en minutes qui est nécessaire afin que le sol absorbe la dose théorique d'arrosage, lorsque l'eau ruisselle en couches minces.* Elle dépend évidemment de la nature du sol. Pour une dose égale d'arrosage, elle sera d'autant plus courte que la terre sera composée d'éléments plus grossiers, qu'elle sera moins profonde ; d'autant plus longue qu'elle sera constituée d'éléments plus fins, qu'elle aura plus de profondeur. Les façons culturales, les améliorations telles que les défoncements, marnages, drainages, etc., la modifient en l'augmentant.

MODULE D'ARROSAGE. — *C'est le débit en litres à la seconde du canal de distribution.*

UNITÉ PARCELLAIRE D'ARROSAGE. — *C'est la surface de terrain que l'on peut arroser en une seule fois en employant tout le module d'arrosage pendant toute la durée théorique de l'arrosage.* Elle dépend de la dose théorique d'arrosage, de la durée de l'arrosage et du module. Ainsi, avec un module de 100 litres, si la dose théorique est de 100 litres de la durée de quinze minutes, on pourra évidemment arroser en une

seule fois : $\frac{100 \times 60 \times 15}{100} = 900$ mètres carrés. Il faudra donc diviser la surface à irriguer en surfaces de 9 ares qui s'arroseront successivement, chacune de ces parcelles recevant toute l'eau du module durant quinze minutes.

Supposons encore qu'il s'agisse d'irriguer un terrain d'une étendue de 10 hectares avec le module (1) usité fréquemment dans le Midi de la France, 50 litres par seconde et par hectare, que la dose d'arrosage soit de 100 litres ou de 0^m^e 100 et la durée d'arrosage de vingt minutes.

Dans ces conditions, combien de mètres carrés pourra-t-on arroser à la fois ? Le module étant de 50 litres à la seconde et à l'hectare, la quantité d'eau disponible en vingt minutes pour 10 hectares sera de $10 \times 50 \times 60 \times 20 = 600\ 000$ litres ; la dose d'arrosage étant de 100 litres

au mètre carré, on pourra arroser : $\frac{600\ 000}{100} = 600$ mètres carrés. Il

faudra donc diviser les 10 hectares en parcelles de 600 mètres carrés et les arroser successivement l'une après l'autre, opération qui théoriquement prendra, pour les 10 hectares : $\frac{20 \times 10\ 000 \times 10}{600} = 55\text{h. } 551.$

VITESSE DE RUISSÈLEMENT DE L'EAU. — *C'est la vitesse moyenne avec laquelle une mince couche d'eau traverse une section perpendiculaire à la direction du ruissellement, de telle sorte que, multipliée par l'aire*

(1) Il s'agit ici du module du canal de distribution sur la surface arrosée (Voy. p. 311).

de cette section, elle fournisse un produit égal au débit. Il ne faut pas la confondre avec la *vitesse moyenne à la surface*, qui est toujours plus grande. Dans leurs expériences, MM. Crevat et Carrier ont cherché à la déterminer approximativement en versant très vite une dissolution concentrée de permanganate de potasse ou de fuchsine sur une ligne transversale à la direction que suit l'eau. La teinte de celle-ci permettait de constater combien il fallait de secondes pour que l'eau colorée parcourt une distance déterminée, 10 mètres par exemple.

Cette vitesse dépend évidemment de la hauteur de l'eau dans la tranche liquide, de la *pente de la surface de l'eau* et de l'épaisseur de l'herbe. Elle demanderait, pour être fixée d'une manière un peu précise, de très nombreuses expériences faites dans des conditions variées. M. Crevat, en se fondant sur celles qu'il a faites avec M. Carrier, estime qu'elle peut être approximativement établie par la formule suivante, pour une prairie bien plane, bien garnie, où l'herbe commence à repousser après un fauchage :

$$(1) \quad v = 20 h \sqrt{I},$$

h représentant la hauteur de l'eau, I la pente de la *surface de l'eau*. Pour une pente I , constante, cette vitesse est donc proportionnelle à la hauteur h de la nappe liquide. Cette vitesse devient dangereuse quand elle dépasse $\sqrt{h}$ pour les prairies, $\frac{1}{2}\sqrt{h}$ pour les terres en culture.

Elle ne doit jamais dépasser 0^m,30 par seconde, parce que l'eau pourrait alors raviner les terrains et même coucher les plantes.

Evidemment, la détermination du coefficient par lequel il faut multiplier $h \sqrt{I}$ appelle toutes les réserves que M. Crevat, lui-même, a formulées et les recherches nouvelles qu'il réclame.

Le coefficient 20 se rapporte à un ruissellement de 0^m,03 à 0^m,05 d'épaisseur. M. Crevat estime qu'il faudrait le réduire à 10 pour les prés bien herbés et même à 5 pour les prés couverts de mousse. Car celle-ci ralentit énormément la vitesse du ruissellement.

LONGUEUR DE L'UNITÉ PARCELLAIRE. — *C'est sa dimension dans le sens de l'écoulement de l'eau, c'est-à-dire dans le sens de la plus grande pente.*

x désignant la longueur de l'unité parcellaire, et h la hauteur de l'eau à l'entrée de la planche, si $\frac{h}{x}$ est négligeable, par rapport à i , pente du terrain, on peut remplacer I par i et écrire :

$$(2) \quad v = 20 h \sqrt{i};$$

si i est lui-même relativement petit, 0,001 à 0,002, M. Crevat propose d'ajouter à i la quantité $\frac{h}{x}$, et alors :

$$(3) \quad v = 20 h \sqrt{i + \frac{h}{x}}.$$

UNITÉ DE DÉBIT DU RUISSELLEMENT. — *C'est le nombre de litres d'eau à la seconde qui passent à l'entrée de la planche par mètre de largeur.*

Elle est évidemment égale au produit de l'épaisseur du ruissellement par sa vitesse en prenant le mètre comme unité de longueur.

Formule des arrosages par ruissellement. — Soient :

A, la dose d'arrosage, exprimée en hauteur d'eau ;

c, le coefficient d'absorption, hauteur d'eau absorbée par seconde ;

i, la pente du terrain dans le sens du ruissellement ;

l, la pente de la surface de l'eau ;

t, la durée d'un arrosage ;

h, la hauteur du ruissellement à l'entrée de la planche ;

v, la vitesse du ruissellement à l'entrée de la planche ;

x, la longueur maxima de l'unité parcellaire ;

l, sa largeur ;

P, la surface de l'unité parcellaire ;

q, l'unité de débit du ruissellement à l'entrée ;

m, le module d'arrosage ou débit à l'entrée de la parcelle.

Les hauteur, longueur, largeur sont exprimées en mètres, les surfaces en mètres carrés, le débit en mètres cubes, la durée en secondes.

Les définitions mêmes permettent d'établir immédiatement les relations suivantes :

$$(1) \quad t = \frac{A}{c}; \quad (2) \quad P = xt = \frac{tm}{A} = \frac{m}{c}; \quad m = ql; \quad (3)$$

$$(4) \quad q = vh = xc = \frac{m}{t} = \frac{xA}{t}; \quad x = \frac{q}{c}; \quad (5)$$

la vitesse du ruissellement est donnée par la formule :

$$v = 20 h \sqrt{l},$$

ou, avec les réserves formulées plus haut :

$$(6) \quad v = 20 h \sqrt{i + \frac{h}{x}}.$$

A ces relations, M. Crevat en ajoute encore une septième, qui définit la longueur maxima x de la planche lorsque l'irrigation est parvenue au régime stable. Alors l'absorption totale par seconde est égale au débit à l'entrée, c'est-à-dire que :

$$(7) \quad cx = ch, \quad x = \frac{ch}{c}.$$

D'autre part, M. Crevat admet que la vitesse moyenne du ruissellement pendant le temps t que l'eau met à parcourir la longueur x de la planche est égale à la moitié de la vitesse v de cette eau à l'entrée.

Soient (fig. 72) $OB = h$ l'épaisseur de la nappe d'eau à l'entrée ; OA la longueur maxima que peut atteindre le ruissellement quand l'absorption totale égale le débit à l'entrée. Nous supposons que l'eau entre avec une vitesse initiale égale à celle qui résulte de la hauteur h et de la pente i , hypothèse réalisée après quelques secondes. La vitesse en un point quelconque de la nappe est donc égale

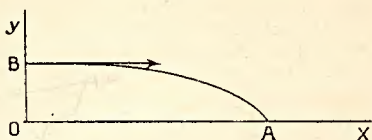


Fig. 72. — Détermination de la longueur des planches d'irrigation.

à $20 h \sqrt{i}$, c'est-à-dire que, comme nous l'avons dit, elle est proportionnelle à la hauteur h pour une pente constante.

Le coefficient d'absorption du sol étant supposé constant, quelle que soit la vitesse du ruissellement, au fur et à mesure qu'une tranche d'eau OB s'avance sur l'axe OX qui représente le sol, sa hauteur initiale h diminue d'une quantité constante par seconde, et la vitesse v diminue d'une quantité proportionnelle. On peut donc assimiler le mouvement de la molécule liquide située à l'origine en B à celui d'un projectile qui serait lancé verticalement de ce point avec une vitesse initiale v qui irait en diminuant d'une quantité constante par seconde.

On peut donc évaluer à $\frac{v}{2}$ la vitesse moyenne de la molécule B ou de la tranche OB pendant son parcours OA .

M. Crevat écrit donc :

$$x = \frac{v}{2} t$$

$$\text{ou, puisque } t = \frac{A}{c}, \quad x = \frac{vA}{2c}, \quad \text{et que} \quad (7) \quad x = \frac{vh}{c},$$

$$\frac{vh}{c} = \frac{vA}{2c}, \quad \text{d'où} \quad h = \frac{A}{2}.$$

Il en résulte que :

$$x = 10 Ah \sqrt{i + \frac{h}{x}},$$

ou

$$(8) \quad x = \frac{5A^2}{c} \sqrt{i + \frac{A}{2x}}.$$

Cette équation permet de calculer par tâtonnements la longueur maxima x de la planche, et par conséquent, grâce aux six équations précédentes, les autres conditions de l'arrosage, telles que l'unité de débit à l'entrée, la largeur de la parcelle que l'on peut arroser avec un module donné, la durée de l'arrosage, lorsque l'on donne la dose, la pente du terrain et le coefficient d'absorption.

M. Crevat a dressé quatre tables que nous ne pouvons reproduire ici, mais que le lecteur trouvera dans la brochure que nous avons citée et qui permettent de calculer les conditions de l'arrosage.

Deux derniers tableaux, les nos V et VI, permettent d'apporter aux résultats que fournissent immédiatement les quatre premiers les corrections nécessaires.

Les calculs que résument les tableaux I à IV se rapportent en effet à des terrains ayant au moins 0^m,02 de pente et dont la surface est rigoureusement plane. Or ces deux conditions ne sont généralement pas remplies. M. Crevat propose donc deux coefficients de correction. Le premiers applique ainsi : la longueur de la planche est diminuée de

$\frac{1}{100}$ pour chaque millième de pente au-dessus de 0^m,02. La durée de l'arrosage est réduit dans la même proportion.

Quant à l'influence de l'imperfection du nivellement, M. Crevat estime à 20 litres la quantité moyenne d'eau dont il faut augmenter la dose d'arrosage pour la compenser. Et il réduit la longueur de la planche et la durée de l'arrosement du produit de ces deux coefficients. Les tableaux V et VI de sa brochure donnent : l'un, la valeur de chacun de ces coefficients et leur produit pour chaque durée d'arrosage combiné avec chaque pente de terrain ; et l'autre, les longueurs réduites des planches en tenant compte des coefficients du tableau V pour des doses et des pentes variables, quand le coefficient d'absorption est égal à 0,0001.

Quelle que soit la méthode d'irrigation employée et malgré tous les soins que l'on aura pris pour bien coordonner les diverses conditions de l'arrosage, on arrivera très rarement à réaliser l'arrosage idéal, parfait. Aussi, en pratique, est-il nécessaire d'employer un quart ou un tiers d'eau en plus que la dose théorique suffisante, surtout si les terrains sont très perméables.

Les expériences de M. Crevat appellent les réserves que l'auteur a formulées lui-même. Mais elles ont le mérite d'avoir fait porter l'observation et le raisonnement sur un domaine où jusqu'ici n'avait guère régné que l'empirisme. Nul doute que les améliorations dont elles seront l'objet ne les conduisent jusqu'à la précision.

« Il ne faudrait pas évidemment, dit M. Crevat, prendre trop à la lettre les résultats de ces calculs qui reposent sur des bases encore trop peu précises. Je pense cependant, ajoute-t-il, qu'ils peuvent éviter de trop grandes erreurs aux praticiens qui veulent établir des irrigations dans des régions agricoles où il n'en existe pas encore et où rien ne peut les guider. Car la nature des sols varie énormément d'une région à une autre, et il est souvent très dangereux de vouloir imiter servilement dans un pays ce que l'on a vu réussir dans un autre, même quand il est peu éloigné et que les terrains paraissent bien semblables. »

Lorsque le prix de l'eau n'est pas très élevé, si on en emploie plus qu'il est nécessaire, cela n'a pas une très grande importance. Mais, la plupart du temps, l'eau coûte assez cher, et il faut en limiter l'usage à

la quantité réellement utile. C'est par des expériences et des études telles que celles-ci, répétées dans les conditions les plus diverses, que l'on arrivera à déterminer les quantités d'eau d'arrosage, les durées d'arrosage, les dimensions des planches, etc., à établir enfin la formule de l'irrigation rationnelle.

CHAPITRE VIII

QUANTITÉS D'EAU NÉCESSAIRES AUX IRRIGATIONS.

Définition. — Il faut d'abord s'entendre sur les diverses manières d'exprimer les quantités d'eau que l'on emploie en arrosages.

On peut supposer que l'écoulement de l'eau soit continu et qu'il corresponde à tant de litres à la seconde, par hectare, pendant un temps déterminé.

On peut aussi représenter cette quantité par la hauteur de la couche d'eau qui serait répandue sur l'hectare pendant le même temps, en supposant nulles toutes les déperditions.

Enfin il est quelquefois commode de l'évaluer en mètres cubes déversés pendant la saison des arrosages.

Chacune de ces évaluations a son avantage.

La première permet d'apprécier facilement la superficie que peut arroser un cours d'eau dont on connaît le débit. Elle sert de base en France et en Italie pour établir le prix de l'eau fournie par un canal d'irrigation.

La seconde laisse comparer à la quantité d'eau que les pluies fournissent pendant la période végétative celle que les plantes exigent.

Enfin, la troisième permet d'évaluer aisément la superficie que l'on peut irriguer avec un réservoir d'une capacité déterminée.

Quand on emploie ces formules, il faut bien s'entendre sur la *durée de l'arrosage continu* et sur le *nombre et la durée des arrosages particuliers*. L'irrigation ne dure qu'une partie de l'année. Quand on parle, par exemple, d'un *débit annuel de 1 litre par seconde et par hectare*, cela s'entend d'un *écoulement continu et fictif de 1 litre par seconde et par hectare pendant toute la durée de l'arrosage*. Mais cela ne signifie nullement que,

lors d'un arrosage, la terre ne recevra que 1 litre par seconde et par hectare. La totalité des 15 552 mètres cubes qui correspondent à ce débit pourra tout autrement être employée.

Cet écoulement *fictif* sert en France à l'Administration pour faire payer l'eau qu'elle fournit. Il ne se confond en aucune façon avec l'écoulement *effectif* sur le champ arrosé.

Supposons, pour fixer les idées, que la saison des irrigations s'étende du 1^{er} avril au 1^{er} octobre, période adoptée dans le midi de la France, qu'elle comprenne ainsi 183 jours. Supposons encore que les arrosages aient lieu chaque semaine pendant la saison entière, et que l'on dispose d'un écoulement annuel et continu de 1 litre par seconde et par hectare.

D'après la définition que nous venons de donner, ce débit annuel correspondra, pour la saison de 183 jours, à une quantité d'eau égale à : $60 \times 60 \times 24 \times 183 = 15\ 811\ 200$ litres.

La quantité d'eau dont on disposera chaque semaine pour l'irrigation sera donc de $\frac{15\ 811\ 200}{25} = 632\ 448$ litres. On pourra les dépenser de diverses façons. Par exemple, on pourra donner à l'hectare, chaque semaine, un arrosage d'une durée de quatre heures, et alors il correspondra à un débit de $\frac{632\ 448}{4 \times 60 \times 60} = 43^1,92$ par seconde et par hectare.

Si l'arrosage, au lieu de durer quatre heures, dure six heures, le débit sera de $\frac{632\ 448}{6 \times 60 \times 60} = 29^1,28$ par seconde et par hectare.

Enfin, supposons que l'irrigation, au lieu de se répéter tous les sept jours, se renouvelle tous les dix jours et qu'elle dure douze heures, quel sera le débit correspondant par seconde et par hectare?

La quantité d'eau dont on dispose tous les dix jours sera de $\frac{15\ 811\ 200 \times 10}{183} = 864\ 000$ litres, et, l'arrosage durant douze heures pour chaque période de dix jours, le débit par seconde et par hectare sera de $\frac{864\ 000}{12 \times 60 \times 60} = 20$ litres.

Dans les deux premières distributions, on donnera à l'hectare une quantité d'eau égale à 632 mètres cubes ($43^1,92 \times 4 \times 3\ 600$

ou $291,23 \times 6 \times 3\,600$) correspondant à une hauteur d'eau égale à $\frac{632}{10\,000} = 0^m,06$. Dans la troisième distribution, on donnera à l'hectare $20 \times 12 \times 3\,600 = 864$ mètres cubes, correspondant à une hauteur d'eau de $0^m,08$.

Nous avons vu (p. 66 à 77) que l'on désignait sous le terme de *module* des appareils qui distribuent l'eau sous un débit donné aux usages. Par extension, on emploie le même mot pour spécifier le débit même d'un canal. Dire qu'un canal *porte un module de 15 litres*, cela signifie que son débit atteint 15 litres d'eau à la seconde.

Les expériences de MM. Müntz, Faure et Lainé, que nous avons citées si souvent, ont démontré que les modules des canaux d'irrigation et ceux de leurs dernières ramifications qui amènent l'eau sur le champ à arroser dépendent *étroitement de la perméabilité du terrain* (Voy. p. 66 à 77). Ainsi le module du canal de Saint-Martory, qui arrose des terres peu perméables, devrait être de 15 litres au lieu de 45. Au contraire, le module du canal de la Bourne, qui porte l'eau sur des terres perméables, devrait être de 180 litres au lieu de 28. Le module du canal de Carpentras, de $45^l,5$, irrigue des terres d'une bonne perméabilité ; il répond à peu près à l'idéal et le canal a donné d'excellents résultats.

Dans le Midi, on estime généralement qu'il faut par hectare un débit de 30 litres durant six heures tous les huit jours. Cela ne veut pas dire que l'on donnera ce débit sur tout l'hectare à la fois durant six heures, mais seulement sur une parcelle plus ou moins longue, durant un temps plus ou moins long, suivant la perméabilité du sol.

Il serait impossible de distribuer régulièrement et d'une manière effective une quantité d'eau aussi petite que 1 litre par seconde et par hectare. On ne peut guère descendre au-dessous de 3 litres.

Le cultivateur qui se propose d'irriguer un pré doit pouvoir se rendre compte de la quantité d'eau qui est nécessaire pour obtenir un bon résultat. Inversement, ayant à sa disposition une certaine quantité d'eau, il doit pouvoir apprécier l'étendue de terrain qu'il est en mesure d'arroser.



Il faut d'abord distinguer entre les *irrigations d'arrosage* et les *irrigations de fertilisation*, ou, comme le disait M. Faure, professeur à l'Institut agronomique, entre les *irrigations des pays du Midi*, où l'on dispose généralement de peu d'eau, et les *irrigations des pays du Nord*, où l'on peut en employer beaucoup.

Les premières n'ont pour but que d'apporter aux plantes les quantités d'eau qui leur sont nécessaires ; les secondes doivent leur apporter, en outre, des principes fertilisants ; elles sont beaucoup plus abondantes.

Les quantités d'eau que les irrigations d'arrosage exigent dépendent : 1° de la nature des plantes irriguées et du climat ; 2° de la constitution du sol et du sous-sol ; 3° de la pente du sol irrigué ; 4° du système d'irrigation.

A. Irrigations d'arrosage. — 1° **Influence de la nature des plantes et du climat.** — Nous avons vu que les plantes exigent pour leur développement une quantité d'eau qui varie entre 200 et 400 litres par kilogramme de matière sèche contenue dans la récolte. Cela correspond pour les céréales à une quantité d'eau totale nécessaire de 1 500 à 2 000 mètres cubes par hectare, soit, en supposant que la durée de végétation atteigne cent vingt à cent cinquante jours, à un besoin journalier de 10 à 15 mètres cubes d'eau représenté par une hauteur de 1 millimètre à 1^{mm},5 par jour.

Pour les plantes qui exigent davantage d'eau, pour les prairies et les racines, il faut de 4 000 à 5 000 mètres cubes par hectare, répartis sur cent quatre-vingts à deux cents jours de végétation, ce qui correspond à un besoin journalier de 20 à 25 mètres cubes, représenté par une hauteur de 2 millimètres à 2^{mm},5 d'eau.

Si toute la pluie qui tombe restait dans le sol à la disposition des plantes, il suffirait de déduire de la hauteur d'eau exigée pour le complet développement des végétaux, la quantité de pluie tombée pour trouver la quantité d'eau que l'irrigation devrait fournir. Mais, d'abord, près de la moitié de la pluie tombée est évaporée directement ou perdue par ruissellement ; puis les besoins d'eau de la plante se font surtout sentir d'avril à fin juillet, tandis que les fortes pluies tombent à l'automne et au printemps. Il faut donc que les plantes trouvent emmagasinée



dans le sol une provision d'eau que la terre accumule durant toute l'année. Il faut que leurs racines puissent s'y abreuver. Les pluies ne leur fournissent pas directement l'eau qui leur est nécessaire au fur et à mesure qu'elles en ont besoin. Le sol doit servir d'intermédiaire entre la pluie et la plante. De sa constitution physique et de celle du sous-sol, de leur porosité, de leur faculté d'imbibition, de leur perméabilité surtout, dépendront les facilités que les plantes auront à trouver l'eau qui leur est nécessaire et à utiliser les eaux d'arrosage. Les propriétés du sol et celles du climat auront une influence prépondérante, plus grande d'ailleurs que les besoins immédiats des plantes, sur les quantités d'eau à donner au sol. Les besoins d'eau des plantes n'auront qu'une signification relative, à moins qu'il ne s'agisse de plantes d'origine différente cultivées dans le même sol.

2° Influence du sol. — La terre est un réservoir dans lequel s'emmagasinent les pluies et le produit des arrosages artificiels. Suivant ses propriétés physiques, — et au premier rang figure la *perméabilité*, — les plantes trouvent des facilités d'approvisionnement divers, et l'ingénieur des conditions particulières auxquelles il doit satisfaire soit en irriguant, soit en drainant avec plus ou moins d'intensité. Sous ce rapport, les sols les moins dissemblables, ayant la même origine géologique, voisins même, peuvent présenter des différences considérables. Il est clair que des terres argileuses exigeront des arrosages moins copieux que des terres légères. Il faudrait toujours tenir compte de ces différences dans la détermination des doses d'arrosage. Or, on ne le fait généralement pas. On donne la même quantité d'eau à des terres ayant des exigences toutes différentes. Comme l'on donne la plupart du temps trop d'eau, il en résulte une dépense inutile. Nous avons exposé les recherches auxquelles la perméabilité des sols a donné lieu en France et à l'étranger. L'idéal serait de trouver un lien solide entre la perméabilité des terres en place et leur constitution physique déterminée au laboratoire.

C'est ce qu'ont cherché à réaliser MM. Müntz, Faure et Lainé en France, M. Kopetzky en Autriche. MM. Müntz, Faure et Lainé, en ce qui regarde les irrigations, n'accordent jusqu'à



présent leur pleine confiance qu'aux expériences faites sur le terrain même. M. Kopetzky et le Service des Améliorations agricoles en Bohême établissent les projets de drainage en s'appuyant sur les résultats que fournissent les méthodes que nous avons décrites.

On peut apprécier la quantité d'eau qu'un certain volume de terre peut absorber par le volume des vides ou des *pores* inclus dans cette terre.

Les auteurs étrangers admettent qu'une terre ne doit pas contenir plus d'eau que n'en représentent les 75 p. 100 du volume de ses pores, ni moins que n'en représentent les 25 p. 100. Si donc les pores que renferme une terre équivalent aux 40 p. 100 de son volume, la quantité d'eau maxima qu'elle pourra renfermer sera de 30 p. 100, et la quantité minima de 10 p. 100 de son volume total. Nous renvoyons à la première partie de cet ouvrage (p. 57) pour la détermination du volume représenté par les pores d'une terre.

Le tableau suivant indique les provisions d'eau disponible dans une couche de terre d'une épaisseur de 0^m,10 pour des terres de porosités différentes (Friedrich) :

Volume des pores en p. 100 du volume de la terre...	30,00	35,00	40,00	45,00	50,00												
Volume des pores en litres par mètre carré de superficie	30,00	35,00	40,00	45,00	50,00												
Volume des pores en mètres cubes par hectare.....	300,00	350,00	400,00	450,00	500,00												
Eau rendue disponible lorsque la teneur en eau descend de 75 à 25 0/0 du volume de la terre.	<table> <tr> <td>En litres par mètre carré de superficie.</td><td>15,00</td><td>17,50</td><td>20,00</td><td>22,50</td><td>25,00</td></tr> <tr> <td>En mètres cubes pour 1 hectare..</td><td>150,00</td><td>175,00</td><td>200,00</td><td>225,00</td><td>250,00</td></tr> </table>					En litres par mètre carré de superficie.	15,00	17,50	20,00	22,50	25,00	En mètres cubes pour 1 hectare..	150,00	175,00	200,00	225,00	250,00
En litres par mètre carré de superficie.	15,00	17,50	20,00	22,50	25,00												
En mètres cubes pour 1 hectare..	150,00	175,00	200,00	225,00	250,00												

Ces quantités d'eau emmagasinées fournissent des réserves pour des temps variables (exprimés ci-dessous en jours), avec les consommations journalières d'eau.



Besoins journaliers en hauteur d'eau.		Réserves en jours.				
1 ^{mm} ,0 = 10 mètr. cub. par hect...	15,0	17,50	20,0	22,5	25,0	
2 ^{mm} ,5 = 25 — ...	6,0	7,00	8,0	9,0	10,0	
5 ^{mm} ,0 = 50 — ...	3,0	3,50	4,0	4,5	5,0	
7 ^{mm} ,5 = 75 — ...	2,0	2,30	2,6	3,0	3,3	
10 ^{mm} ,0 = 100 — ...	1,5	1,75	2,0	2,2	2,5	

Les mêmes auteurs (Heuschmidt) admettent que les irrigations d'arrosages par ruissellement exigent, suivant les différents sols, les quantités d'eau suivantes, du milieu de mai au milieu d'août.

Sols argileux : 2 800 mètres cubes d'eau par hectare et par an, donnés en deux fois, soit en tout une hauteur d'eau = 0^m,28 et chaque fois une hauteur de 0^m,14 d'eau.

Sols de consistance moyenne : 4 500 à 5 000 mètres cubes donnés en trois fois, soit chaque fois une hauteur d'eau égale à 0^m,15 ou 0^m,16 et, en tout, une hauteur d'eau de 0^m,45 à 0^m,50.

Sols légers : 6 000 à 10 000 mètres cubes donnés en quatre ou cinq fois à raison d'une couche d'eau de 0^m,17 à 0^m,20 chaque fois, soit de 0^m,68 à 1 mètre en tout.

En France, nous donnons généralement des quantités d'eau beaucoup plus considérables, ce qui montre bien qu'à côté du sol, le climat, c'est-à-dire les précipitations météoriques, la température et la lumière jouent aussi un rôle très important.

3° Influence de la pente du sol. — Moins un pré a de pente, plus il faut d'eau pour l'arroser.

4° Influence du système d'irrigation. — Les quantités d'eau à donner varient avec les divers systèmes et méthodes d'irrigation. C'est ainsi que la méthode des ados exige plus d'eau que l'irrigation par rigoles de niveau et que celle-ci en exige plus que l'irrigation par submersion.

Quantités d'eau données en France. — Dans le midi de la France, la pratique agricole et les observations qui ont été faites en divers lieux ont montré que la quantité d'eau nécessaire à l'irrigation, purement d'arrosage, avoisinait un débit annuel continu et fief de 1 litre à la seconde et par hectare.

Le terme *annuel* s'entend de la saison d'arrosage, qui dure en général 183 jours, du 1^{er} avril au 1^{er} octobre. Le volume d'eau distribué pendant ce laps de temps, à raison



de 1 litre par seconde, correspond ainsi à 15 811 mètres cubes par hectare, soit à une couche d'eau d'une hauteur de 1^m,581 d'épaisseur. Cette quantité d'eau est distribuée en un nombre d'arrosages qui varie entre douze et quarante-deux.

Nous extrayons de l'intéressant ouvrage de M. P. Lévy Salvador (1) le tableau ci-contre (p. 319), qui indique pour cette région les espacements des arrosages, leurs durées et les quantités d'eau nécessaires.

Ce tableau montre que, même pour la région du Midi et pour des irrigations uniquement destinées à rafraîchir le sol, la quantité d'eau nécessaire n'est pas constante. Et cette constatation se renouvelle quand on consulte les chiffres qui ont été fournis par Hervé-Mangon et par de Gasparin.

Hervé-Mangon a trouvé les résultats qui suivent, à la suite de ses observations sur quelques irrigations du Vaucluse :

	PRAIRIE (Taillades).	LUZERNE (Taillades).	HARICOTS (Taillades)	PRAIRIE (L'Isle).
Nombre d'arrosages annuels.....	13	11	6	5
Durée { totale.....	11 ^h	38 ^h 4 ^m	2 ^h 45 ^m	3 ^h
{ partielle..	50'46"	3 ^h 28 ^m	27 ^m 30 ^s	6 ^h 12 ^m
Volume { entré.....	16 383 ^{mc}	37 959 ^{mc}	5 126 ^{mc}	5 402 ^{mc}
d'eau { sorti.....	3 179 ^{mc}	2 001 ^{mc}	0	326 ^{mc}
{ total.....	11,89	41,393	01,988	11,226
Débit { d'arrosage.	261,56	251,76	01,973	41,570
moyen { d'été.....	11,89	41,393	01,988	11,226
{ d'hiver....	0	0	0	0

M. de Gasparin, présentant les méthodes que l'on cherche aujourd'hui à réaliser, a voulu établir une relation entre la nature plus ou moins compacte du sol pour la région méridionale et la quantité d'eau qu'il convient d'apporter.

Il déclare qu'il faut donner :

(1) LÉVY SALVADOR, Hydraulique agricole, Paris, 1896-1900.



NATURE des CULTURES.	INTER- VALLE entre deux arro- sages.	NOMBRE d'arro- sages par saison.	DURÉE de chaque arrosage.	VOLUME absorbé par seconde et par hectare.	VOLUME total nécessaire pour un arrosage par hectare.	VOLUME absorbé annuelle- ment par hectare.	DÉBIT contin- uant par seconde et par hectare.	OBSERVATIONS.
Prairies naturelles...	8	23	6 heures.	litres. 30	m. c. 648	m. c. 14 904 à 15 860	0 ^l ,74 à 1 ^l ,003	»
Prairies artificielles : luzerne.	12	15	6	30	648	9 720 à 15 860	0 ^l ,63 à 1 ^l ,003	»
Blé.....	»	1 ou 2	6	30	»	648 à 2 731	0 ^l à 0 ^l ,15	Pas d'arrosage régulier. Un arrosage au printemps, renouvelé en cas de sécheresse extrême.
Olivier.....	»	10 ou 2	2 4/4	60	486	4 000	0 ^l ,63	Deux arrosages en moyenne : l'un au mois de juin, l'autre au mois d'août.
Culture des jardins.	»	»	»	»	»	39 528	2 ^l ,5	»
Légumineuses.....	»	»	»	»	»	13 814 à 21 977	4 litre à 1 ^l ,39	»
Culture maraîchère.	5	»	»	»	»	4 000	0 ^l ,63	»

		P. 100 de sable (1).	
Un arrosage tous les	{ quinze jours à la terre contenant.....	20	
	{ onze — — — — —	40	
	{ six — — — — —	60	
	{ trois — — — — —	88	

Et il ajoute que chaque arrosage exige une couche d'eau de 0^m,08 à 0^m,10 d'épaisseur, soit 800 à 1 000 mètres cubes par hectare ; ce qui correspond aux consommations d'eau suivantes pour une période d'arrosage qui s'étend du 1^{er} avril au 30 septembre :

TERRE CONTENANT	MÈTRES CUBES.	LITRES PAR SECONDE.
20 p. 100 de sable.	12 000	0,77
40 — — — — —	16 000	1,03
60 — — — — —	30 000	1,02
80 — — — — —	60 000	3,83

Nadault de Buffon a résumé ses observations sur les irrigations des prairies dans le tableau ci-contre.

Les saisons d'arrosage sont de six mois, sauf pour le chiffre qui correspond à la dernière ligne ; il ne s'agit là que d'une saison de cinq mois. Les chiffres ci-dessus sont d'ailleurs relatifs à une année sèche et à des prairies à sous-sol argileux :

(1) La proportion de sable contenue dans le sol se détermine ici en desséchant une certaine quantité de terre à 40° et en passant 50 grammes de cette terre desséchée sur un crible dont les trous ont 1^{mm},5 de diamètre ; ce qui reste sur le crible est la partie pierreuse de la terre, dont on détermine le poids par une pesée. On prend 20 grammes de terre criblée et on la met pendant plusieurs heures dans un vase plein d'eau de 2 à 3 litres de capacité ; on agite ensuite vivement avec une baguette de verre, en donnant à la masse un mouvement giratoire ; on décante quand le liquide est bien animé de ce mouvement, en ayant soin de verser les parties tenues en suspension dans l'eau, et de garder au fond du vase celles qui se sont précipitées. On répète à plusieurs reprises la même opération sur ces dernières parties, en décantant à chaque fois, et on s'arrête quand l'agitation laisse l'eau parfaitement claire. Le résidu qui tombe au fond du vase étant séché, puis pesé, donne la proportion de la partie sablonneuse qu'il s'agissait de déterminer.

NOMBRE de jours après lesquels on recommence les arrosages.	NOMBRE d'arrosages		HAUTEURS d'eau			VOLUMES employés		
	par mois.	par saison.	par arrosage	par mois.	par saison.	par arrosage.	par mois.	par saison.
			m.	m.	m.	m. c.	m. c.	m. c.
7 à 8	4	24	0,04	0,16	0,96	400	1 600	9 600
10	3	18	0,06	0,18	1,08	600	1 800	10 800
7 à 8	4	24	0,05	0,20	1,20	500	2 000	12 000
10	3	18	0,07	0,21	1,26	700	2 100	12 600
7 à 8	4	24	0,06	0,24	1,44	600	2 400	14 400
10	3	18	0,08	0,24	1,44	800	2 400	14 400
10	3	18	0,10	0,30	1,50	1 000	3 000	15 000

Nadault de Buffon avance que le volume de 15 000 mètres cubes, qui correspond à une prise d'eau de 1 litre par seconde pour 1 hectare pendant six mois, est trop fort pour la plupart des prairies.

Dans l'étude d'un projet d'irrigation publiée en 1903 dans le *Journal d'agriculture pratique*, M. Jules Crevat estime qu'il faut en France pour l'irrigation de 1 hectare de pré :

	Litres par seconde.
En sol profond, argileux, climat frais.....	0,50
— perméable et climat frais.....	0,75
— perméable et climat chaud.....	1,00
— mince très perméable, climat chaud.	1,50
— mince, très perméable, climat chaud et venteux.....	2,00

Ces chiffres s'entendent d'un débit continu par seconde et par hectare durant la saison d'arrosage (Voy. p. 311).

Les arrosages d'été que l'on exécute dans les pays méridionaux, surtout afin de compléter l'apport des pluies, demandent moins d'eau que les arrosages fertilisants du Nord. Nous avons dit que l'on s'accordait en général à leur attribuer par hectare 15 552 mètres cubes d'eau par an. Ce volume est répandu en dix-huit à vingt-quatre fois. Mais ce chiffre ne saurait servir de base à une règle absolue et générale. Nous

l'avons déjà dit. Il doit subir des corrections suivant la quantité de pluie qui tombe, suivant la nature plus ou moins perméable, plus ou moins absorbante du sol ; suivant l'évaporation, la pente du terrain, etc. C'est d'ailleurs plutôt un maximum. Voici quelques chiffres se rapportant à divers pays.

Dans le Roussillon, M. Meseure de Lasplane estime la consommation moyenne de 1 hectare à 8 000 mètres cubes. Nadault de Buffon, pour les vallées de la Teils et du Thet, limite à 4 300 mètres cubes la quantité d'eau à donner par hectare et par an. Jaubert de Passa descend encore au-dessous de cette évaluation. Sur les territoires de Risevaltes, Vineau, Elne et Perpignan, d'après lui, le débit moyen nécessaire à l'hectare ne serait que de 2 626 mètres cubes par saison.

En Algérie, l'eau est rare. Les cultures d'été : coton, maïs, vigne et tabac, ne reçoivent pendant les cinq mois qui s'étendent de mai à septembre que un quart à un demi-litre par seconde et par hectare. Les cultures d'hiver, céréales et fourrages, ne reçoivent que deux ou trois arrosages de 400 mètres cubes chacun. Les prairies artificielles profitent de 400 mètres cubes.

Les ingénieurs allemands estiment de 10 à 20 litres par seconde et par hectare, en moyenne 15 litres, la quantité d'eau nécessaire aux irrigations par submersion, avec renouvellement continu.

Il est certain que, en ce qui concerne les irrigations par ruissellement, les quantités que nous avons indiquées sont, d'une manière générale, trop considérables. On pourrait les diminuer de beaucoup si l'on connaissait mieux les rapports réels entre l'eau et les terres, et en particulier si on savait les régler d'après la perméabilité et le pouvoir d'imbibition des divers terrains.

B. Irrigations fertilisantes. — Les irrigations peuvent aussi avoir pour but principal la fertilisation du sol, comme dans les Vosges, dans la Campine belge. Dans le Milanais, les prairies appelées *marcites* doivent leur production exceptionnelle à la couche d'eau relativement chaude (11°) qui les recouvre en hiver. Ces diverses irrigations exigent des quantités d'eau variables, mais toujours supérieures à celles que



demandent les irrigations uniquement destinées à fournir l'eau nécessaire à la végétation. En général, elles s'appliquent soit aux pays du Nord, soit aux contrées voisines des montagnes où l'on dispose de beaucoup d'eau.

Trop souvent on dépasse les limites convenables. On arrive alors, au lieu de l'enrichissement, à l'appauvrissement du sol, surtout en nitrates, en sulfates et en chlorures. C'est l'*irrigation à mort*.

Dans les Vosges, les consommations sont énormes. Il y a un véritable gaspillage d'eau et de la fertilité. On ne récolte que des foin durs et pauvres.

Rappelons (1) que, d'après les chiffres donnés par Hervé-Mangon, l'eau versée sur la prairie d'Habeaurupt couvrirait le sol d'une couche d'eau de 400 mètres d'épaisseur si elle y était réunie à un moment donné ! Il cite plusieurs installations où la quantité d'eau totale versée dans l'année sur 1 hectare atteint 150 000 mètres cubes, ce qui correspond à une hauteur d'eau de 150 mètres. Il est vrai que toute l'eau répandue est loin de traverser le sol et que la plus grande partie gagne tout de suite les colatures.

Dans la Campine belge, l'irrigation donne en moyenne 31 litres par seconde et par hectare. Les arrosages sont au nombre de dix-huit : douze du 15 mai au 15 octobre ; six du 15 octobre au 15 mai. Les prairies établies sur des territoires très perméables absorbent 977 306 mètres cubes par hectare et par an, soit une hauteur voisine de 100 mètres.

En Normandie, d'après Debaube, les prairies de la vallée de la Charentonne (Eure) reçoivent 141 900 mètres cubes par hectare et par an, ce qui correspond à un débit continu de 4,5 par seconde.

Les prairies de la vallée de la Risle (Eure) reçoivent 504 500 mètres cubes par an, soit 16 litres par seconde.

En Italie, dans le Milanais, les marcites exigent un débit constant de 20 à 42 litres par seconde, soit 1 700 à 3 600 mètres cubes par jour ou 63 072 à 1 324 610 mètres cubes par an.

Les irrigations avec les eaux d'égout, ou avec les eaux in-

(1) Voy. p. 171.



dustrielles, s'exécutent parfois avec des volumes d'eau énormes. Durand-Claye dit que les terrains perméables de la plaine de Gennevilliers, aux environs de Paris, reçoivent de 40 à 100 000 mètres cubes d'eau par hectare et par an. Mais, lorsqu'on emploie ces eaux résiduaires, il s'agit surtout de les épurer et d'utiliser au maximum le pouvoir épurant du sol. La fertilisation passe au second plan, en sorte que le plus souvent ces arrosages donnent lieu à un véritable gaspillage des éléments fertilisants.

La diversité des chiffres que nous venons de citer montre que, lorsqu'il s'agit d'irrigations fertilisantes, il ne saurait y avoir de règles précises. En théorie, les quantités d'eau données doivent varier avec la richesse de l'eau en principes fertilisants, avec la nature du sol, sa pente, le climat et les récoltes. En pratique, on donne le plus souvent ce que l'on a, les arrosages étant trop fréquemment limités par la faible quantité d'eau dont on dispose. D'ailleurs, dans le cas où l'on disposerait d'eaux très abondantes, mais stériles, il ne faudrait pas abuser des arrosages à grands volumes. On risquerait de lessiver le sol, de l'appauvrir et même de modifier sensiblement ses propriétés physiques.

CHAPITRE IX

EXÉCUTION DES IRRIGATIONS.

Projet et plan. — Comme nous l'avons déjà dit, l'ingénieur chargé d'établir des irrigations doit avant tout appliquer la méthode qui convient le mieux aux circonstances naturelles : relief du sol, quantité et qualité des eaux. Il doit s'efforcer de réaliser l'arrosage de la façon la plus simple et par conséquent la plus économique possible. Il n'y a pas à proprement parler de *systèmes préconçus d'irrigation*. Chaque système et chaque méthode s'appliquent à des conditions particulières. Il n'y en a donc pas qui soient *a priori* meilleurs les uns que les autres. Ce ne sont pas ces procédés, abstraction faite des conditions de leur application, qui assurent le bon résultat de l'arrosage. C'est l'opportunité de leur emploi qui en garantit le succès. Sur



le même sol, juxtaposées, doivent se rencontrer quand il le faut les uns et les autres. C'est affaire à l'ingénieur de savoir les manier comme le peintre use de ses couleurs suivant les parties du paysage qu'il veut représenter. Nous avons vu qu'entre les deux mêmes horizontales du terrain, espacées de 30 centimètres, dans le plan vertical, on devait parfois orienter les ados dans deux sens différents. Un peu plus haut, à droite ou à gauche, la pente du sol aura pu décider de l'emploi des rigoles horizontales ou des demi-planches.

La pente naturelle du sol, l'utilité de réduire au minimum les remaniements du terrain, parfois la nécessité d'économiser l'eau, d'assainir énergiquement un terrain naturellement marécageux : voilà quels sont les facteurs principaux qui interviennent dans le choix du procédé d'irrigation.

Nous les avons examinés en décrivant chacune des méthodes. Nous rappellerons seulement ici que, chaque fois qu'elle est praticable, c'est-à-dire chaque fois que la pente du sol avoisine 3 p. 100, c'est la méthode de déversement par rigoles horizontales qui s'impose, tant par la simplicité de son tracé et de la conduite des eaux que par les résultats excellents qu'elle donne. La première chose qu'il convient de faire, c'est d'examiner si l'on dispose d'assez d'eau pour arroser, si cette eau est à un niveau convenable pour irriguer le terrain envisagé, et quelle est sa qualité. Cela sera toujours facile lorsque l'on se trouvera dans le voisinage d'un grand canal d'irrigation.

Lorsqu'il s'agit d'une rivière ou d'un ruisseau, on mesure son débit en employant l'un des procédés que nous avons décrits. Quelques coups de niveau permettent de se rendre compte de la zone qui peut être arrosée. Enfin il faudra toujours s'entourer des garanties légales qui permettront de procéder aux arrosages sans avoir à craindre de procès avec les usagers ni avec les voisins.

Ces premières constatations faites, on procédera au nivellement général du terrain (1), en prenant comme plan de com-

(1) Voy. à ce sujet les notions élémentaires de nivellement que nous rappelons dans ce volume à propos du drainage (p. 457).



paraison, à la cote zéro, le niveau moyen de l'eau au point de dérivation. De cette façon, on distinguera tout de suite les points trop élevés pour être arrosés, qui par conséquent devront être nivelés, et ceux que l'eau atteindra facilement. Mais, surtout, cette opération essentielle permettra de déterminer la pente du sol dans ses diverses régions. Elle mettra donc l'ingénieur à même de déterminer le système d'irrigation qui conviendra à telle ou telle section de la prairie et de calculer approximativement l'importance des déblais et des remblais, d'apprécier ensuite combien de fois l'eau pourra être remployée.

Ces travaux préliminaires achevés, on jalonnera le canal d'amenée de l'eau en disposant les points qui marquent sa direction, de telle sorte qu'il n'ait guère que de $1/2$ à 3 p. 1 000 de pente (1).

Puis on reporte sur le terrain, à l'aide du plan, les horizontales espacées de 25 à 30 centimètres dans le plan vertical.

On marque ces lignes plus ou moins régulières à l'aide de petits piquets. Afin de les distinguer entre elles, on donne aux piquets d'une ligne une direction verticale, à ceux de la ligne suivante une direction oblique. On arrondit les contours du tracé. L'examen de ces horizontales, ainsi figurées sur le terrain, permettra de se rendre compte de la position des rigoles horizontales d'arrosage, si la pente du sol est d'au moins 3 p. 100 ; de l'orientation des ados, si la pente est inférieure à 3 p. 100. Les horizontales étant distantes de 30 centimètres dans le plan vertical, on traitera par la méthode des rigoles horizontales ou par celle des ados les sections du terrain suivant qu'elles seront comprises entre des horizontales écartées de moins de 13 mètres ou de plus de 13 mètres. Des considérations de même nature guideront l'ingénieur dans la superposition des planches, dans la détermination des diverses sections du pré irrigué et dans les dispositions qu'il prend pour remployer l'eau des colateurs.

On ne peut s'étendre longuement sur ces travaux que l'habi-

(1) Vincent marquait immédiatement sur le terrain, à l'aide de piquets, les horizontales espacées de 25 ou 30 centimètres.



leté, la pratique de l'ingénieur peuvent faire varier à l'infini. On ne peut que recommander d'appliquer rigoureusement les principes de l'irrigation rationnelle, c'est-à-dire opérer par les procédés les plus simples et employer chaque fois la méthode qui convient le mieux aux circonstances dans lesquelles on se trouve.

Voilà un premier principe que pose l'irrigation rationnelle. En outre, elle apprend à déduire de l'écartement des horizontales l'orientation qu'il convient de donner aux ados afin de pouvoir les établir avec le minimum de terrassements possible.

Si l'écartement des horizontales ne dépasse pas 20 à 25 mètres, longueur optima de l'ados, les planches pourront être dirigées suivant le sens de la pente du sol. Mais, si cet écartement dépasse 20 à 25 mètres, elles seront dirigées perpendiculairement à la pente.

Sur un terrain quelque peu mouvementé, les horizontales, d'abord écartées à plus de 25 mètres, peuvent ensuite se rapprocher au-dessous de cette distance. Alors on placera les ados perpendiculairement à la pente dans la partie du terrain où les horizontales sont espacées de plus de 25 mètres. On les orientera suivant le sens de la pente là où elles se rapprocheront.

On est ainsi amené à orienter les ados de la manière la plus rationnelle dans chacun des compartiments du terrain délimités par les horizontales.

La plupart du temps, les planches sont dirigées suivant la pente du sol. Elles sont étagées les unes au-dessus des autres. La figure 54 (p. 271) représente une portion du terrain où finissent les planches d'un étage et où commencent celles de l'étage immédiatement inférieur; AA' représente le canal de colature des planches de l'étage supérieur; BB' le canal de distribution afférent au second étage. L'espace qui les sépare sert de chemin; il est d'ailleurs gazonné, et le canal de colature peut l'irriguer.

Exécution du plan. — On commencera par creuser les principaux canaux de colature, afin que l'eau que la terre renferme, ou qu'on lui amènera, ne gêne pas les travaux. Dans



le même temps, les places marécageuses ou trop humides s'assainissent et prennent de la consistance.

Puis on construit le principal canal de distribution ; il sera bientôt nécessaire pour amener l'eau dans les rigoles et régler leur pente.

Ensuite, on enlève le gazon qui recouvre le sol s'il s'agit d'une vieille prairie. S'il s'agit d'un terrain couvert de bruyères, d'ajoncs ou de toutes autres plantes vivaces non utilisables et

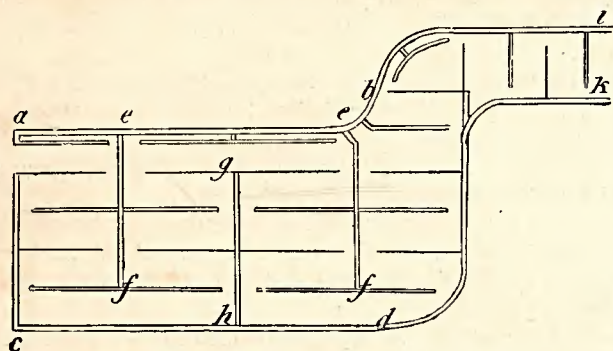


Fig. 73. — Disposition des ados en terrain vallonné.

abi, canal d'amenée ; *ef*, *ef*, canaux de distribution ; *gh*, *ki*, rigoles de colature ; *cd*, canal de colature.

difficiles à détruire, il faut se décider au défrichement à la charrue.

Le gazon s'enlève par bandes rectangulaires de 30 centimètres de largeur sur 2 à 3 mètres de longueur ou par plaques carrées. Ce travail se fait le plus souvent à la main. On coupe le gazon en l'attaquant à coups de *tranche-gazon*. Les figures 74 et 75 représentent un modèle de cet instrument, mais il en existe de nombreux types qui varient avec les pays. On tend préalablement un cordeau à une certaine distance de la ligne suivant laquelle doit être faite la section. La bande de gazon étant ainsi découpée suivant ses deux côtés, on la détache sur 10 centimètres d'épaisseur à l'aide d'une pioche à lame tranchante, large de 10 ou 12 centimètres, longue de 30. Lorsque



le terrain n'est pas trop sec, qu'il n'est pas caillouteux et qu'on opère sur d'assez grandes surfaces, on emploie souvent une charrue dont le coutre et le soc sont soigneusement aiguisés.

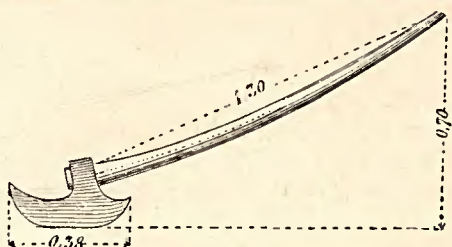


Fig. 74. — Hache dite tranche-gazon.

Les bandes de gazon étant ainsi détachées du sol, on les coupera à la longueur voulue à l'aide de la bêche.

Quand le gazon est très solide, compact, on roule les bandes, l'herbe en dedans, autour d'un bâton ; cela en facilite le transport. On charge les plaques sur des brouettes, après avoir laissé de place en place les gazons nécessaires à la confection des rigoles, et on en forme des tas réguliers sur le terrain en dehors des parties que l'on doit travailler.

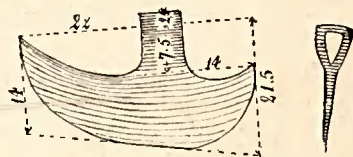


Fig. 75. — Fer de la hache représentée ci-dessus, vu de face et de profil (1/10 d'exécution).

Ces gazons seront remplacés plus tard sur le sol, après l'achèvement des terrassements.

Lorsqu'il s'agit d'une irrigation par rigoles horizontales, il est inutile d'enlever la surface gazonnée tout entière. Il suffit d'ôter les gazons qui recouvrent les endroits creux ou trop bombés. On ne procède à l'enlèvement complet que pour construire des ados, et encore suffira-t-il parfois de dégazonner les surfaces qui seront transformées en rigoles et d'appliquer les gazons que l'on se sera ainsi procurés de chaque côté de l'emplacement des rigoles horizontales d'arrosage. Nous avons

expliqué comment on procédait alors en parlant de la construction des *ados naturels*.

Mais, quand la disposition du sol exigera son remaniement total, on procédera comme nous venons de l'expliquer. Puis on effectuera les terrassements nécessaires. On comblera les creux en se servant de la terre qui formait les saillies. On ameublira soigneusement le sol en le hersant et en le roulant alternativement. Le transport des terres d'un point à l'autre de la prairie s'effectuera énergiquement à l'aide de la *ravale* ou *pelle à cheval* (fig. 76). C'est une caisse en bois ouverte à

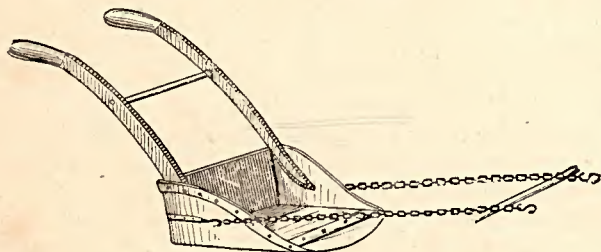


Fig. 76. — Ravale ou pelle à cheval.

la partie antérieure, dont le fond, d'une largeur de 1^m,50, est formé d'une épaisse plaque de tôle cintrée à bord tranchant. Elle est munie de deux manches que tient l'ouvrier. Quand il les soulève, l'instrument pique dans le sol, et, sous l'action du cheval qui le tire en avant, il se charge de terre. Quand l'ouvrier abandonne les manches, la ravale bascule et dépose son chargement. On se sert aussi de pelles pour jeter la terre à faible distance, de brouettes ou de tombereaux. On complète le travail de la ravale avec la *charrue-niveleuse* ou la *charrue-planche*. C'est une simple planche en bois munie à sa partie inférieure d'une solide plaque de tôle. On la place sur un avant-train ordinaire de charrue (Charpentier de Cossigny).

Quand on exécute des terrassements, il faut avoir soin de ne pas mettre la terre provenant du sous-sol à la place de la terre végétale qu'on a enlevée pour faire disparaître une éminence. Aussi est-il bon de mettre de côté la terre superfi-



cielle, comme on fait pour les gazons. Cette manœuvre occasionne certainement un surcroît de peine et de dépense ; mais, si on ne la pratiquait pas, on finirait par gâter le terrain superficiel et compromettre la végétation de la prairie.

Une fois les terrassements achevés, on trace les différentes rigoles ; on construit, s'il y a lieu, les ados ou les demi-planches, puis on replace les gazons. Les plaques sont disposées les unes à côté des autres. De la terre végétale est jetée dans les intervalles qui les séparent. On humecte le tout, et on le bat avec une batte formée d'une plaque de bois munie d'un manche de 1 mètre de longueur. Lorsqu'il n'y a pas assez de gazon pour recouvrir à peu près complètement la surface du sol, il faut disposer les plaques en quinconces de manière à former un damier. On remplit de bonne terre les cases, et on les ensemeince avec des graminées.

Il faut réserver assez de gazon pour tapisser les talus des rigoles et des canaux qui sont exposés au ravinement, quitte à ensemenacer ensuite les surfaces planes.

Tracé et confection des rigoles dans la méthode d'irrigation par rigoles horizontales. — On peut appliquer au nivellement du terrain l'une des méthodes que nous exposons à propos du drainage (Voy. p. 457), celle des quadrilatères par exemple, tracer sur le plan les horizontales et les reporter sur le terrain. Mais souvent, pour de petites superficies, on détermine sur le pré ou le champ même les horizontales, comme nous l'expliquerons aussi plus loin (Voy. p. 463). Le niveau à bulle d'air et à lunette permet de viser jusqu'à 120 mètres à droite et à gauche de la station. Son emploi permet donc de mener rapidement le travail. Le niveau d'eau réduit à 40 ou 50 mètres les visées, suivant la vue de l'opérateur. Mais son maniement est si simple, son usage si bien approprié aux besoins de l'agriculteur qu'il est plus souvent employé que le précédent.

On marque à l'aide de petits piquets en bois, en commençant par le haut du pré, les points qui sont dans le même plan horizontal que celui de l'axe de la lunette. Pour différencier les horizontales les unes des autres, on fixe ces piquets alternativement droits et inclinés. Les points marqués sont espacés



de 4 mètres, et les horizontales sont espacées de 50 centimètres environ dans le plan vertical, de plus ou de moins suivant que le terrain est plus ou moins déclive.

Les points qui déterminent le passage des horizontales forment généralement une ligne brisée. La personne qui dirige le travail les réunit par une ligne courbe sinueuse et continue tracée à la bêche, de manière à éviter les coudes brusques. Cette opération s'exécute avec une bêche légère. On en profite pour tracer les courbes de raccordement des rigoles d'arrosage avec les rigoles de distribution.

Les horizontales étant tracées directement, comme nous venons de le dire, ou reportées sur le terrain d'après le plan et

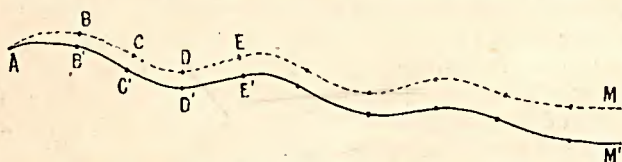


Fig 77. — Procédé pour donner de la pente à une rigole.

marquées à l'aide de piquets, on trace les rigoles de distribution. Les horizontales permettent de discerner facilement les lignes de faite des thalwegs. C'est dans les thalwegs qu'on placera les rigoles de distribution, pour les raisons que nous avons déjà dites. On marquera leur emplacement à l'aide de jalons sensiblement plus élevés que ceux qui fixent la direction des horizontales.

On indique la direction des rigoles de distribution à l'aide d'un cordeau que les ouvriers suivent pour enlever le gazon. Celui-ci est soigneusement mis de côté. La rigole achevée, il faudra s'en servir, en effet, pour en tapisser les parois et la défendre ainsi contre le ravinement.

On procède de même pour les rigoles d'arrosage. Si elles sont rectilignes, on en indique la direction à l'aide d'un cordeau ; si elles sont sinueuses, avec de petites fiches de bois ou par une raie tracée à la bêche.

Nous avons supposé jusqu'ici que les rigoles étaient rigoureusement de niveau. Mais nous savons que, la plupart du

temps, elles doivent avoir une légère pente de part et d'autre de la rigole de distribution. Cette pente, qui peut varier de 1 à 3 millimètres par mètre, facilite singulièrement la répartition de l'eau. Voici comment on peut la ménager en se basant sur le piquetage qui a été fait suivant les courbes de niveau.

Soient A, B, C, D, ..., M (fig. 77) la suite des points obtenus par le nivellement et qui sont marqués par des fiches sur une longueur AM d'une trentaine de mètres. Supposons que l'on veuille établir une rigole partant de A et se dirigeant vers M avec une pente de 1^{mm},5 par mètre. Cette pente donne pour 30 mètres une dénivellation de 45 millimètres. La rigole devra donc aboutir en un point M' situé à 4^{cm},5 au-dessous de M. Un coup de niveau donnera ce point immédiatement. Le même procédé permettra de déterminer les points intermédiaires B', C', D', E',

Ces rigoles d'arrosage ont un profil rectangulaire. Elles mesurent 15 centimètres de largeur sur 10 centimètres de profondeur. Pour les construire, il suffit donc d'enlever une plaque de gazon ayant les mêmes dimensions. A l'aide du *tranche-gazon* que nous avons déjà décrit, on détermine dans le gazon deux sections verticales espacées de 15 centimètres. Puis avec la bêche on découpe la bande ainsi formée en morceaux de 25 centimètres de long. Enfin on détache les morceaux à 10 centimètres de profondeur, en se servant d'une pioche. Un homme exercé peut faire environ 300 mètres de rigoles par jour. Mais il faut transporter les mottes de gazon en des points plus ou moins éloignés, selon la destination qu'on leur donne, et cela peut prendre encore beaucoup de temps. Il faut, d'ailleurs, toujours laisser un certain nombre de ces plaques de gazon sur les bords de la rigole. On les utilisera pour former de petits barrages au moment où les irrigations fonctionneront. Ces mottes de gazon trouvent, au surplus, leur emploi pour garnir des rigoles, pour revêtir des talus en remblais, pour couvrir des endroits dénudés.

Quand les rigoles sont rigoureusement droites, la *charrue-rigoleuse* permet de les tracer très rapidement. Mais il n'est guère possible de s'en servir pour les rigoles sinueuses.



Nous avons supposé jusqu'ici que le sol était occupé par une prairie. Il est beaucoup plus facile de creuser les rigoles dans une terre recouverte de gazon : les sections sont bien plus nettes ; les terres se tiennent en place, et on n'a pas à craindre les éboulements. Aussi, lorsque le sol n'est pas gazonné, attend-on souvent une année pour faire les rigoles. Il peut être avantageux cependant de les tracer tout de suite, afin que les semis et le jeune gazon puissent profiter de l'arrosage. On se contente alors de donner aux rigoles d'arrosage la forme d'un petit sillon à talus inclinés, quitte à les rectifier plus tard.

Les rigoles de colature et le canal d'évacuation sont ouverts en suivant la même méthode que pour les rigoles de déversement et le canal d'amenée. Mais le canal principal d'écoulement, au lieu de n'avoir qu'une pente très faible, reçoit au contraire la pente maxima. On le garnit de gazon ; on y ménage, s'il le faut, de petites chutes, de manière à le préserver des affouillements.

Une fois terminé le tracé des canaux et des rigoles, on vérifie leur pente et on achève de la corriger en donnant l'eau. On la fait refluer dans le canal d'amenée à l'aide de la vanne, et on la laisse pénétrer dans les différentes rigoles. On suit attentivement sa distribution et son déversement. Il est facile de corriger, s'il y a lieu, la pente des rigoles.

Construction des ados. — 1^o **ADOS NATURELS.** — Lorsque c'est possible, on se borne à construire des *ados naturels*. Mais il faut que la nature s'y prête, c'est-à-dire que la pente du terrain soit très faible et que les eaux soient assez limoneuses pour que leurs dépôts acheminent peu à peu, chaque année, le travail de l'ouvrier. Ce procédé a l'avantage de limiter à très peu de chose le dégazonnement, de réduire au minimum les déplacements de terre, par conséquent la dépense, et de ne pas interrompre, pour ainsi dire, la production de la prairie.

On commence par indiquer avec des jalons et des piquets l'emplacement des diverses rigoles et des chemins qui séparent les séries d'ados. Puis on ouvre les rigoles d'écoulement qui séparent les planches. On obtient ainsi des mottes de gazon à



l'aide desquelles on forme les parois latérales des rigoles d'arrosage.

Avant de placer les piquets, on a tendu à 1^m,50 des rigoles vv' et yy' (fig. 78) deux cordeaux dont l'écartement est égal à la longueur de l'ados (25 à 30 mètres). Les piquets sont enfoncés de telle sorte que leurs sommets sur rr' et ee' soient

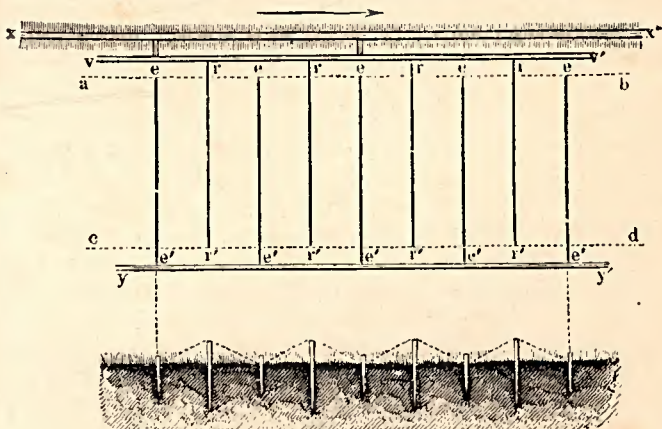


Fig. 78. — Construction des ados naturels.

respectivement à la cote de la crête de l'ados et à celle du fond de la rigole de colature.

Les gazons que fournit l'établissement des deux rigoles de colature sont placés à côté des précédents, de part et d'autre, de manière à indiquer la crête de l'ados (fig. 51, p. 263). Puis on approfondit de plus en plus les colateurs en gagnant l'extrémité de l'ados, et, au fur et à mesure qu'on avance, on rejette la terre, après l'avoir soigneusement émiettée, vers le milieu de la planche. On régularise la surface aussi parfaitement que possible en la battant légèrement. La deuxième partie de la figure 51 représente l'aspect de l'ados à cette période de son établissement. Plus tard, les dépôts abandonnés par les eaux l'achèveront peu à peu. Mais il n'aura jamais une conformation très régulière.



2° ADOS ARTIFICIELS. — Après avoir fait le nivellement du terrain, on trace sur le côté le plus élevé le canal de distribution de l'eau en lui donnant la pente nécessaire. On marque, ensuite, à l'aide de piquets et de cordeaux, l'emplacement des rigoles de déversement et de colature, celui des chemins qui séparent les séries d'ados ou biefs. On s'appuie sur les considérations que nous avons déjà développées pour fixer la direction des ados.

Les chemins d'exploitation reçoivent une largeur de 1^m,50 à 3 mètres.

Le côté délicat de la construction des ados réside dans l'intérêt de les établir de telle sorte que, dans les terrassements qu'il faut faire, le volume des déblais compense à peu près exactement celui des remblais. C'est ainsi que l'on réduit, autant que possible, les déplacements de terre, qui occasionnent toujours des frais considérables.

C'est en disposant la crête de l'ados à une cote convenable, qui dépend de la pente du terrain, de la hauteur même de l'ados, qu'on atteint le but proposé.

Si le sol de chaque bief ou compartiment, formé par une série d'ados, était rigoureusement horizontal, rien ne serait plus facile. Il suffirait de placer la crête de l'ados à une hauteur au-dessus du sol égale à la moitié de la hauteur même de l'ados. Il est clair que les déblais à effectuer pour construire la moitié inférieure de l'ados suffiraient pour former le remblai de l'autre moitié.

Le terrain n'a jamais cette disposition. Il présente invariablement des irrégularités et une pente quelconque. Mais on peut toujours le transformer en une surface horizontale, de telle sorte que les terres qui proviennent des éminences situées au-dessus de cette surface combleront les dépressions situées au-dessous. Il suffira donc d'abord de chercher la cote du terrain par laquelle passerait le plan horizontal auquel il peut être assimilé. Puis on établira la crête des ados au-dessus de ce plan, à une cote égale à la moitié de la hauteur des ados.

On procédera donc de la manière suivante :

Après avoir divisé le terrain en biefs ou compartiments, s'il y a lieu, on se placera successivement à peu près au centre



de chacun d'eux. On donnera de là des coups de niveau sur tous les points où le terrain présentera des dépressions ou des éminences. En prenant la moyenne de toutes les cotes relevées, on obtiendra celle du plan horizontal, auquel le terrain peut être ramené pour que déblais et remblais s'équivalent à peu près.

Cette cote, qui doit servir de point de repère pour tracer toutes les parties de la prairie, sera marquée par un piquet solidement fixé dans le sol.

Cette manière de faire suppose que les dépressions et les éminences du terrain ont la même étendue. S'il n'en était pas ainsi, il faudrait, en s'en rapportant au coup d'œil, modifier légèrement la cote calculée, en plus ou en moins.

Puis on divisera le compartiment en ados, suivant la longueur adoptée. On marquera par des piquets les extrémités des rigoles de déversement et d'égouttement.

A l'aide du niveau, on placera les têtes des premiers à une distance, en contre-bas du piquet de repère, égale à la moitié de la hauteur de l'ados, et les têtes des piquets qui marquent les extrémités de la rigole d'arrosage (du côté du pignon) à une distance en contre-haut du piquet égale à la même quantité.

On jalonne les rigoles avec des piquets intermédiaires qu'on place aux cotes convenables, grâce à l'emploi décrit ailleurs d'un jeu de nivelettes (Voy. p. 494 à 502). Enfin on réunit par un cordeau, à la hauteur voulue, les piquets qui jalonnent la crête de l'ados.

On procédera de même pour chaque ados. Si la série n'est pas trop longue, on peut se contenter d'établir au niveau les cotes des crêtes et des extrémités des rigoles de colature. On déterminera les cotes des autres à l'aide de jalons et de nivelettes.

Le tracé des travaux étant ainsi exécuté, on dresse les crêtes des différentes rigoles et celles des chemins d'exploitation au moyen de gazon de 0^m,10 de largeur sur 0^m,03 à 0^m,05 d'épaisseur. On dessine de cette façon tout le profil de l'ouvrage. Le sol est attaqué ensuite à la bêche. On rejette vers le centre de la planche la terre enlevée aux extrémités, vers les colateurs que l'on approfondit peu à peu, à mesure que l'on gagne la



croupe de l'ados. On doit soigneusement laisser la couche végétale à la surface. Les couches inférieures du sol sont stériles. Elles sont aussi moins consistantes et assurent moins bien que celles du haut la forme de l'ados.

C'est une excellente chose que d'opérer à la bêche un défoncement aussi profond que possible. Certains ingénieurs, Keelhoff par exemple, en font une condition nécessaire de succès pour l'irrigation. Ce défoncement assure l'assèchement du sol. Il serait inutile si le sous-sol était tout à fait imperméable.

Dans la confection de l'ados, il faut tenir compte du tassement des terres, égal environ au neuvième de leur volume.

On doit exécuter les travaux l'hiver qui précède l'ensemencement.

Une fois les ados établis, on régularise la surface de leurs ailes à l'aide d'un rouleau; on achève les rigoles dont on régularise la pente. On vérifie cette pente en donnant de l'eau avec mesure. Il est facile de voir si cette eau circule facilement dans la direction voulue et s'il est nécessaire d'approfondir ou de relever le plafond de la rigole. Les différents canaux et rigoles ont d'ailleurs les dimensions que nous avons précédemment indiquées. Les rigoles d'arrosage puisent l'eau dans le canal d'alimentation à un niveau de plus en plus bas, à mesure qu'elles s'amorcent plus loin dans ce canal en suivant sa pente.

Disposition spéciale pour l'arrosage des planches de grandes dimensions.— Ces planches ne sont pas avantageuses. Elles exigent des terrassements trop importants. Mais la configuration du sol oblige parfois à y recourir. Afin qu'elles soient régulièrement arrosées, il faut alors aménager des rigoles horizontales sur les flancs de l'ados et sur la croupe triangulaire. Les figures 50 et 52 indiquent suffisamment bien cette disposition pour qu'il soit inutile d'entrer dans de longs détails. Les rigoles sont tracées sur les flancs en s'aidant du niveau. Elles communiquent par de petits canaux transversaux avec la rigole de déversement. Celle-ci est pourvue d'une pente un peu plus accentuée que de coutume et dirigée vers l'extrémité de l'ados. Elle doit être naturellement plus large que si elle n'arrosait qu'une planche étroite.



On adopte ces dispositions lorsque la largeur des planches atteint 15 à 20 mètres.

Construction des plans inclinés. — Si le terrain présente des pentes en sens contraire, il doit être préalablement aplani. Cela étant fait, on marquera avec des piquets le contour et les angles des planches. Les sommets de ces piquets occuperont les cotes convenables, grâce à quelques coups de niveau. Les demi-planches seront dirigées transversalement à la plus grande pente du terrain.

La figure 79 montre combien il est aisé de les construire. La ligne *mn* indique sur ce profil la section du sol primitif. Pour former chacune des demi-planches, on creuse la terre vers le bas et on la rejette vers le haut, de manière que la demi-planche ait une pente d'environ 4 p. 100. Lorsque la pente du sol est

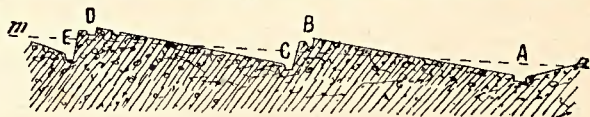


Fig. 79. — Demi-planches superposées (profil).

mn, surface primitive du sol; *BD*, rigoles d'arrosage; *ACE*, rigoles d'égouttement.

régulière, le déblai, dans la confection de chacune des surfaces arrosées, équivaut à peu près au remblai.

On construit les rigoles de distribution et de colature comme il a été indiqué à propos des ados.

Les canaux de distribution *cd*, *ef*, *gh* (fig. 42, p. 249) règnent suivant la pente naturelle du sol. Ils portent l'eau dans chacun des canaux d'arrosage *r*, *r*, *s*. Suivant que l'on remploie ou non les eaux de colature, l'ensemble des travaux se rapproche des dispositions indiquées par la figure 42 ou la figure 44.

Le plus souvent le terrain présentera des irrégularités de surface. Pour arriver à équilibrer les déblais et les remblais, on suivra le procédé qui vient d'être indiqué pour les ados. A l'aide du niveau, on cherchera la cote du plan horizontal auquel on peut ramener le terrain.

On établira ensuite le milieu de chaque planche à la hauteur de cette cote. Et les terres à provenir de l'établissement de la

moitié inférieure serviront à former le remblai de la moitié supérieure de la planche.

CHAPITRE X

DRAINAGE DES PRAIRIES IRRIGUÉES.

Il y a toujours intérêt à irriguer des prairies, même lorsqu'elles manquent de pente et que le sous-sol n'est pas perméable. Mais il faut alors que l'irrigation soit accompagnée d'un assainissement énergique. L'application de la méthode des ados y pourvoit dans une certaine mesure. On ne peut pas toujours l'employer; aussi convient-il assez souvent d'exécuter un drainage complet. Des fossés tracés à ciel ouvert ne suffiraient pas. En effet, les prairies manquent généralement de pente. Or, pour évacuer de faibles quantités d'eau, les fossés à ciel ouvert exigent beaucoup de pente; si l'eau n'a pas une grande vitesse, elle ne peut vaincre les résistances que lui opposent les plantes qui garnissent bientôt les talus. Les fossés s'embourbent et deviennent rapidement plus nuisibles qu'utiles. Puis, comme nous l'avons dit ailleurs, ils absorbent beaucoup de terrain aux dépens de la production de l'herbe. On doit donc leur préférer les drains souterrains formés de pierres ou mieux encore de tuyaux en terre cuite.

Les pratiques ordinaires du drainage s'appliquent encore ici, mais avec les précautions suivantes :

1° Le drainage ne peut pas être indépendant du réseau d'irrigation. Les drains ne devront jamais être placés directement au-dessous des rigoles. Ils ne les croiseront même pas, autant que possible. Lorsqu'un croisement est inévitable, le drain est garanti contre les infiltrations de l'eau par un manchon ou par l'application de mottes de terre glaise comprimée. Les lignes de drains s'arrêteront à 1^m,50 ou 2 mètres des rigoles d'arrosage ;

2° Les drains sont placés à une profondeur de 0^m,90 à 1^m,10. Ils sont dirigés suivant la pente du terrain lorsqu'elle ne dépasse guère 3 à 4 p. 1000, et les collecteurs reçoivent alors une pente artificielle.



Le drainage n'est naturellement possible que si l'on peut

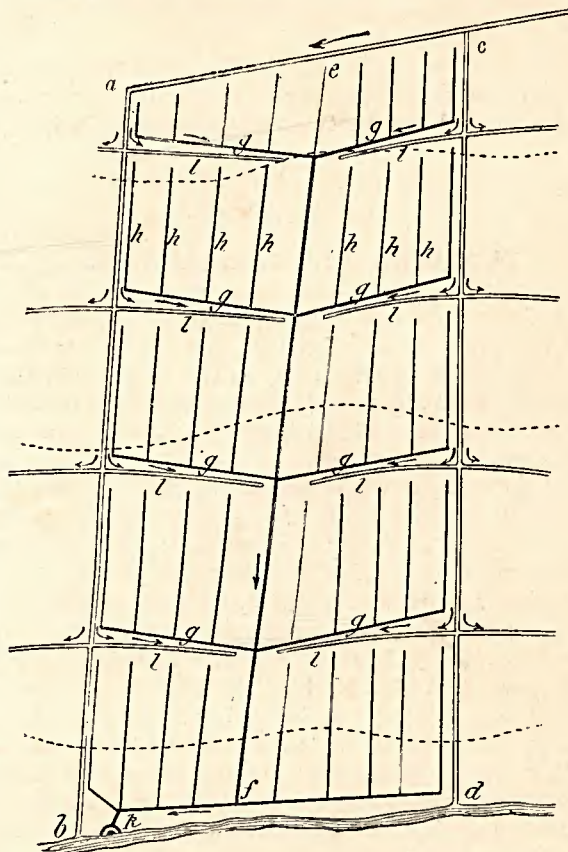


Fig. 80. — Plan d'un terrain drainé et irrigué.

Les lignes ponctuées représentent les courbes de niveau; les traits doubles représentent les fossés et rigoles servant à l'irrigation; les traits pleins figurent les lignes de drains souterrains; *ac*, canal d'amenée; *bd*, ruisseau servant à l'écoulement des eaux superflues.

faire écouler les eaux que le collecteur principal a ramassées.

Quand on le peut, comme pour les prés de montagnes, on se sert des eaux de drainage pour irriguer des prairies situées plus bas.

La figure 80 représente, d'après Charpentier de Cossigny, une prairie drainée d'après les principes que nous venons d'énoncer. L'irrigation y est donnée par des rigoles horizontales.

CHAPITRE XI

ÉCONOMIE DES IRRIGATIONS.

Prix de revient des irrigations. — Ils dépendent des difficultés d'établissement, de l'importance des travaux que nécessite la méthode d'irrigation que l'on a adoptée et du prix de la main-d'œuvre. Ils varient donc avec les difficultés du terrain et avec les régions, et il est impossible de les établir avec précision *a priori*.

Les irrigations par submersion et par rigoles horizontales reviennent au meilleur marché. Les premières peuvent coûter de 80 à 150 francs l'hectare ; les secondes, de 80 à 300 francs. L'aménagement des submersions demande quelquefois des terrassements ; le prix s'en trouve naturellement augmenté. Il en est de même lorsqu'on apporte un soin particulier aux digues et aux rigoles. Dans son traité sur les irrigations de la Campine, publié en 1856, Keelhoff établit à 703 francs le prix de revient de 1 hectare de prairies submersibles. Mais il comprend dans cette somme un défoncement à 0^m,60 de profondeur, les engrais, les semences, soit pour 592 francs environ de frais complémentaires ; cela réduit donc à 110 francs environ la dépense nécessitée par la submersion proprement dite.

Ce sont les terrassements, les transports de terre qui majorent le coût de l'aménagement des irrigations. L'irrigation naturelle, qui suppose qu'on ne modifie que très peu la forme générale du terrain, amènera donc toujours moins de dépenses que l'irrigation artificielle.

Ainsi, d'après les chiffres donnés par les meilleurs auteurs qui ont écrit sur les irrigations, le prix de l'établissement des



ados naturels peut varier, suivant les difficultés du terrain et les régions, de 95 à 250 francs par hectare. Il peut atteindre 400 et 500 francs lorsqu'il s'agit d'ados étagés en gradins.

Les ados artificiels reviennent beaucoup plus cher. Mais les chiffres varient ici entre des limites encore plus éloignées, parce que l'importance des travaux est elle-même très variable. On peut les comprendre entre 500 francs et 1 500 francs à l'hectare, en considérant les chiffres de 600 à 1 000 francs comme représentant la dépense la plus habituelle. On cite des constructions de prairies qui ont coûté jusqu'à 2 000 francs l'hectare. Ces grands écarts montrent qu'il convient d'estimer chaque fois la dépense avec beaucoup de soin, en tenant compte, bien entendu, du prix de la main-d'œuvre dans les pays où l'on opère.

Quant aux frais annuels d'entretien, ils peuvent atteindre de 20 à 30 francs par hectare irrigué.

Ces prix subissent des réductions très sensibles lorsque les travaux sont effectués par association ou syndicat des propriétaires intéressés. C'est toujours sous cette forme qu'ils devraient être entrepris.

Ils ne comprennent d'ailleurs pas les frais d'établissement des travaux d'art, tels que : barrages, aqueducs, ponceaux, etc.; ils s'appliquent uniquement au projet, plan et installation des rigoles, c'est-à-dire à l'irrigation proprement dite.

Résultats apportés par l'irrigation. — Avant de réaliser une amélioration agricole, il faut toujours examiner avec soin ce qu'elle coûtera et supputer les bénéfices qu'elle rapportera. On ne doit l'effectuer que si elle amène un profit assuré et suffisant pour rémunérer le capital qu'elle a immobilisé. En ce qui concerne les irrigations, on peut dire avec M. Dunkelberg que nulle autre amélioration agricole, sauf l'assainissement des terres très humides, ne récompense aussi largement celui qui l'entreprend avec opportunité. Mais encore faut-il avoir égard à la nature des prés, à leurs qualités, à celles que l'amenée de l'eau ajoutera, aux difficultés et aux dépenses de l'irrigation. Il peut être plus sage, quelquefois, de consacrer à l'achat de prairies de meilleure qualité l'argent que

l'on se proposait d'employer à de coûteux travaux de terrassement.

Cependant il est à remarquer que le profit que l'on retire de l'irrigation est souvent d'autant plus élevé, relativement, que la valeur du sol est plus faible, pourvu que celui-ci se prête, une fois arrosé, à la production de l'herbe et que les eaux soient quelque peu fertilisantes.

La statistique agricole publiée en 1892 par le ministère de l'Agriculture donne les chiffres suivants pour les rendements des prairies par hectare, année moyenne :

	SUPERFICIES.	RENDEMENTS PAR HECTARE.
	Hectares.	Kilogrammes.
Prés non irrigués.. .. .	2 008 851	3 100
Prés submersibles naturellement par les crues des rivières	1 323 198	3 600
Prés irrigués à l'aide de canaux et de travaux spéciaux.....	1 070 787	3 800

Ces chiffres, qui ne sont que des moyennes, sont loin, bien entendu, de représenter les rendements que l'on obtient dans de bonnes conditions. Si l'on examine les choses de plus près, la statistique même nous montre que, dans le département du Vaucluse, par exemple, la récolte du foin atteint 5 000 kilogrammes par année moyenne, pour les prés irrigués, tandis qu'elle descend à moins de 3 000 kilogrammes, dans des circonstances analogues, pour le Loiret, la Marne, la Haute-Marne et d'autres départements.

Mais les meilleures prairies irriguées donnent facilement 8 000 kilogrammes de foin sec à l'hectare. Les marais de la Lombardie, qui répondent, il est vrai, à des conditions exceptionnelles, produisent en cinq coupes jusqu'à 15 000 kilogrammes à l'hectare, et la production des prairies irriguées avec les eaux de la ville de Milan atteint en sept coupes jusqu'à 20 000 kilogrammes à l'hectare (A. Hérisson).

L'irrigation fait doubler, et parfois même quadrupler la récolte. Le capital engagé produit un intérêt élevé et s'amortit



rapidement, en même temps que la valeur de la terre augmente souvent dans des proportions considérables.

Du compte rendu des travaux de la commission supérieure pour l'aménagement et l'utilisation des eaux, publié en 1897 par les soins du ministère des Travaux publics, résulte que cette commission admettait (Durand-Claye) que l'irrigation procure, en moyenne, un accroissement de revenu net d'au moins 200 francs par hectare, déduction faite de tous frais ; que la plus-value foncière qu'acquiert un terrain soumis à l'arrosage peut, en conséquence, être évaluée à environ 4 000 francs l'hectare, qu'elle peut même atteindre un chiffre relativement plus élevé pour les terres de mauvaise qualité.

D'après Barral, le produit brut des terres arrosées est, dans les Bouches-du-Rhône, de 1 500 à 3 000 francs par hectare, au lieu de 200 à 500 ou 600 francs à peine pour les meilleures terres qui n'ont pas le bénéfice de l'irrigation. Le revenu net est de 200 à 500 francs plus élevé. Il est souvent quintuple.

La valeur de la propriété s'accroît dans des proportions analogues, et cette plus-value s'étend par une sorte d'action réflexe (Barral) à toutes les terres du domaine.

L'État peut donc percevoir de ce fait des impôts plus élevés. Et cette considération montre qu'il y a pour lui un grand avantage à favoriser les irrigations. La création et l'utilisation pratique des canaux d'irrigation peuvent donc être une excellente affaire d'intérêt public.

CHAPITRE XII

IRRIGATIONS DANS LES HAUTES MONTAGNES.

Bisses du Valais. — Dans les pays de hautes montagnes, comme les Pyrénées et la Suisse, on utilise, pour l'irrigation et pour l'alimentation des villages, les eaux qui proviennent de la fonte des neiges et des glaciers. Du lieu de leur formation, glacier, lac alpestre ou ruisseau, jusqu'aux endroits où elles sont utilisées, les eaux sont transportées dans des canaux tantôt accrochés aux flancs des montagnes, tantôt courant



sur les crêtes qui bordent les précipices. Dans le canton du Valais



Fig. 81. — Canaux alpestres ou bisses du Valais.

ces canaux s'appellent *bisses*. Ils y sont très nombreux et très

importants. Les services qu'ils rendent, leur hardiesse, l'ingéniosité des installations qui les accompagnent, rendent très intéressantes ces bisses, que nous avons eu l'occasion de voir. Il y aurait grand profit à les introduire dans certaines de nos montagnes, où les eaux du haut ravagent les pentes qu'elles devraient arroser d'une manière rationnelle. Aussi croyons-nous devoir leur consacrer les quelques lignes qui suivent. Nous les tirons, ainsi que les gravures qui les accompagnent, d'un très intéressant mémoire de l'ingénieur en chef fédéral L. Blotnitzki.

En 1871, le Valais possédait cent dix-sept de ces canaux.



Fig. 82. — Bisse établie au bord d'un précipice.

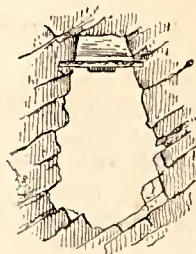


Fig. 83. — Bisse établie en tunnel.

L'origine de quelques-uns remonte à l'époque romaine. Beaucoup furent construits aux ^{xiv}^e, ^{xv}^e et ^{xvi}^e siècles. Ils recueillent généralement les eaux qui proviennent de la fonte d'un glacier ou celles de ces ruisseaux sauvages qui descendent des hautes montagnes ; quelquefois ils s'amorcent aux lacs que l'on construit pour y garder les eaux de fonte des neiges. Certains canaux puisent donc à plus de 3 000 mètres d'altitude l'eau qu'ils transportent. Ils ont parfois plus de 48 kilomètres de longueur. Tantôt ils sont constitués par des caisses en bois accrochées, comme le montre en A la figure 81, aux flancs à pic des montagnes ; tantôt, établis en pierre, ils bordent des précipices (fig. 82). Parfois ils sont creusés en tunnel (fig. 83) sur une grande longueur. Quand ils sont menacés par des chutes de pierres, on les place profondément dans le flanc

de la montagne, et on les protège comme le montre la figure 84. Les eaux sont reçues la nuit dans des réservoirs, et elles ne servent que le jour. L'usage de l'eau est donné à la journée et à l'heure. Chaque participant doit utiliser l'eau à un moment déterminé. Aussi est-il



Fig. 84. — Bisse protégée contre les éboulis.

essentiel que le canal soit toujours maintenu en bon état et que tout dégât soit immédiatement connu et réparé. Il faut donc le soumettre à une active surveillance, d'autant plus nécessaire qu'il traverse souvent plusieurs communes où l'eau pourrait être retenue volon-

tairement ou non. Cette surveillance est exercée pour chaque canal par un ou deux préposés. Elle est quelquefois facilitée par une ingénieuse disposition représentée par la figure 85. L'eau met

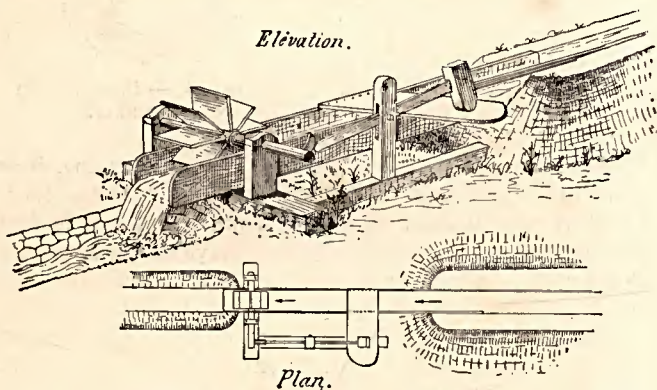


Fig. 85. — Canaux alpestres du Valais. Avertisseur automatique.

en mouvement la petite roue à aubes représentée par la figure. L'axe de cette roue, au moyen d'une came, soulève et laisse retomber un petit marteau qui frappe sur une planche, imitant

le jeu de l'enclume et produisant un bruit qui s'entend au loin. Quelquefois, afin que le bruit soit mieux caractérisé, une seconde roue fait mouvoir un marteau qui donne un son plus bas que celui de l'autre. Ces coups s'entendent de très loin, et,

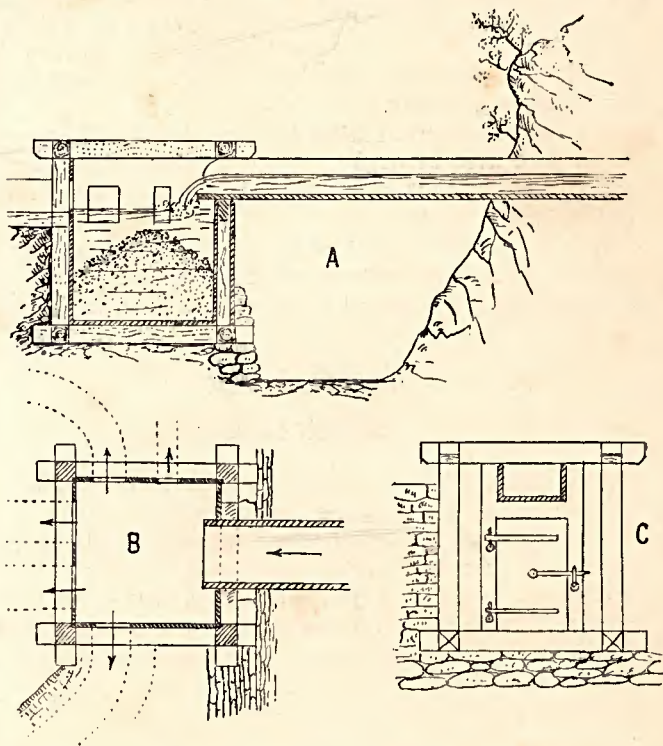


Fig. 86. — Canaux alpestres ou bisses du Valais. Partiteur d'eau.

lorsqu'ils cessent, c'est que l'eau ne coule plus régulièrement. Le surveillant ainsi prévenu se dirige aussitôt vers le canal ; il y fait la réparation nécessaire. On se sert de plusieurs sortes de barrages ; ceux qui règlent l'introduction de l'eau dans le canal sont construits avec des soins particuliers ; ils sont dis-



posés de telle sorte qu'ils n'y laissent pas pénétrer plus d'eau qu'il ne convient, même lorsqu'il y a des pluies d'orage.

La figure 86 indique la construction des barrages qui servent à la répartition de l'eau. Le partage de l'eau se fait de la manière suivante : un réservoir en bois reçoit l'eau par l'un de ses côtés, comme l'indiquent les parties A et B de la figure 86 ; sur les trois autres côtés, ont été ménagées des ouvertures rectangulaires dont les bords inférieurs sont rigoureusement horizontaux.

Ces ouvertures ont la même hauteur, mais leur largeur est en rapport avec la quantité d'eau qu'elles doivent laisser passer. Elles peuvent donc débiter le volume d'eau qui doit passer dans le canal.

Le réservoir a une profondeur assez grande pour que les pierres et la terre entraînées puissent s'y déposer. On le nettoie à l'aide d'une porte qui est représentée en C sur la figure 86.

CHAPITRE XIII

LIMONAGE.

Le limonage consiste à laisser les eaux déposer sur le sol, d'une manière uniforme, les limons qu'elles charrient. Le limonage se distingue du colmatage, dont nous parlerons plus loin, en ce que : 1^o il n'interrompt pas la culture ; 2^o il vise surtout à l'amélioration graduelle du sol, tandis que le colmatage cherche surtout à l'exhausser ou à combler ses dépressions. Le *limonage* se rattache aux irrigations, tandis que le *colmatage* est un procédé de dessèchement.

Nous avons étudié, dans un autre chapitre (1), la composition des limons entraînés par quelques cours d'eau. Et ce que nous en avons dit suffit à montrer l'intérêt des limonages. Ils sont toujours à recommander, même quand le sol est fertile. Mais ils sont particulièrement précieux quand il s'agit de sols pauvres ou même stériles. Dans le premier cas, ils permettent d'améliorer peu à peu des terrains qui ne donnaient que de

(1) Voy. pages 140 à 158.



faibles récoltes. Les eaux déposent à leur surface des matières terreuses, souvent riches en substances fertilisantes, que la charrue mélange avec le sol. Lorsque le terrain est de trop mauvaise qualité pour que l'incorporation de limons suffise à en faire de la terre arable, lorsqu'il s'agit, par exemple, de ces sables ou de ces graviers que l'on rencontre au bord des fleuves, ou que l'on ne puisse attendre assez longtemps pour que le limon soit mélangé en assez grande quantité au sol, on peut avantageusement tirer parti du sol primitif en le transformant en prairie permanente.

Pratique des limonages. — Le principe à suivre consiste à faire couler lentement, sur le sol préalablement aplani, l'eau trouble en nappe très large et très mince. La surface du sol doit donc être faiblement inclinée et interrompue de place en place par ces levées de terre dont nous avons déjà parlé à propos de la submersion. Ces digues sont assez élevées lorsqu'il s'agit de champs cultivés où il faut couvrir de grands espaces libres d'obstacles. La même nécessité n'existe pas pour les sols encore incultes soumis au limonage. Les levées de terre peuvent donc être très rapprochées les unes des autres et consister en de simples bourrelets de 1 à 2 décimètres de hauteur tout au plus. Plus tard, lorsque la terre sera propre à la culture, la charrue et la herse effaceront facilement ces inégalités.

Nous empruntons à l'excellente *Hydraulique agricole* de Charpentier de Cossigny les détails qui suivent sur l'exécution des limonages. La première chose, c'est de régulariser, dans une certaine mesure, la surface du sol et de lui donner l'aspect général et la forme qu'il devra présenter une fois l'opération terminée. De cette manière, on ne sera pas exposé à opérer plus tard des remaniements de terrains qui obligeraient à recouvrir en certains endroits le limon déposé par de la terre stérile. Les terrassements préliminaires étant achevés, on établira les bourrelets nécessaires pour retenir l'eau, et on procédera au limonage. On pourra suspendre l'opération lorsque les sables ou les graviers auront été recouverts d'une couche de terre suffisante pour permettre à la jeune plante d'y prendre pied. On rabattra les bourrelets, on établira les rigoles de distribution et d'arrosage, et l'on ensèmera le terrain en gra-



minées. Aussi fréquemment que possible, on introduira dans les rigoles une faible quantité d'eau, de manière à obtenir, par simples infiltrations, l'humidité nécessaire à la germination, à la levée et au premier développement des plantes. Une fois l'herbe bien enracinée, on pourra commencer à faire couler l'eau avec précaution à la surface du sol. Enfin, une fois le gazonnement obtenu à un degré jugé suffisant, l'opération entrera dans une troisième phase, celle où l'on commencera à tirer parti du sol par l'exploitation de la prairie, tout en continuant l'œuvre d'amélioration foncière au moyen des limons. La marche à suivre consistera simplement à arroser la prairie avec les eaux troubles, en faisant couler à la surface une couche de cette eau, également répartie et aussi mince que possible. Pendant l'hiver, on pourra mettre l'eau sur toute la prairie pendant plusieurs semaines consécutives. Mais, à partir du moment où l'herbe entrera en végétation active, il conviendra, pour procurer au sol l'aération dont il a besoin et ne pas le rendre marécageux, de diviser la prairie en trois ou quatre parties, que l'on arrosera à tour de rôle. On pourra procéder ainsi toute l'année, sauf au moment de la maturité de l'herbe. On veillera toujours avec soin à ce que l'eau coule lentement et en nappe mince ; c'est à cette condition seulement que s'effectuera le dépôt des limons. L'eau qui entre trouble sur le terrain à limoner doit en sortir aussi claire que possible. C'est en hiver et au printemps que les eaux sont le plus chargées de limons. Les limonages sont très recommandables en hiver sur les terres non encore ensemencées ou sur les prairies de graminées tant que l'herbe n'a qu'une faible hauteur. Lorsque le sol porte des récoltes, il ne faut limoner qu'avec circonspection.

Les différentes méthodes d'irrigation se prêtent d'ailleurs toutes, plus ou moins bien, au limonage. L'essentiel est de ne faire arriver l'eau que très lentement et de retarder, par conséquent, sa descente sur le sol. Il est clair qu'une pente trop forte du terrain rend impossible et incomplet le colmatage. Le limon se dépose toujours en assez grande quantité dans les rigoles horizontales. On l'en extrait chaque année à la pelle, et on le répand sur les terres voisines.



Quand des champs sont disposés pour l'irrigation par submersion, il faut toujours en profiter pour pratiquer le limonage quand les circonstances s'y prêtent, c'est-à-dire quand les eaux que l'on emploie sont troubles et que l'état de la végétation le permet. On couvre le terrain d'eau, et on la laisse reposer jusqu'à ce qu'elle soit claire, puis on la fait écouler doucement.

CHAPITRE XIV

ENSEMENCEMENT ET ENTRETIEN DES PRAIRIES IRRIGUÉES.

Transplantation du gazon. — Les fossés et les canaux, les élévations du sol qu'il a fallu détruire, les bords des chemins, les forêts ou les bois voisins fournissent des plaques de gazon qui suffisent parfois à recouvrir les parties dénudées de la prairie. On dispose ces plaques les unes à côté des autres, ou bien on en forme un damier. Les espaces vides sont remplis de terre fine, puis la surface tout entière est tassée au rouleau.

Mais si le gazon manque, où s'il s'agit de transformer en prairie une terre arable, il faut ensemençer. Le choix et la qualité des semences, l'époque de l'année et la température exercent naturellement une grande influence sur la réussite de l'opération.

Ensemencement. — L'ensemencement a l'inconvénient de retarder un peu la jouissance de la prairie. Mais il a le grand avantage de permettre de la composer de végétaux choisis et d'éliminer les plantes nuisibles que contiennent souvent les vieux gazons. Cet avantage n'est, bien entendu, réel qu'à la condition expresse de n'employer que de bonnes semences, unies dans des proportions avantageuses. Le cultivateur habile constituera lui-même ses mélanges. Il associera des plantes hautes qui n'échappent pas à la faux, qui repoussent facilement et donnent ainsi une seconde coupe ; il s'efforcera de réunir celles qui, dans sa région, arrivent à peu près à maturité à la même époque. Il pourra choisir de préférence les graminées et les légumineuses qui constituent la flore des



bonnes prairies situées dans son voisinage et sur des terres de même nature que les siennes. Une fois les semences confiées au sol, la nature aidera vite d'ailleurs au maintien des végétaux qui conviennent le mieux au terrain et au climat ; elle amènera même les espèces qui manquaient au mélange, mais qui sont cependant propres au milieu.

Nous donnons ci-contre (p. 355), d'après M. Schribaux, professeur à l'Institut agronomique, directeur de la station d'essais de semences, deux exemples de composition de prairies permanentes. Les 50 kilogrammes à l'hectare qu'il convient de semer reviennent environ à 70 francs.

Quelques cultivateurs recourent à l'emploi des *fenasses* ou *fonds de fenil*, fonds de greniers à fourrages qui contiennent, avec des semences de plantes fourragères, des débris végétaux et des poussières. Ce n'est pas une pratique recommandable. D'abord, ces fenasses, si elles contiennent les graines des bonnes plantes, contiennent aussi celles des plantes nuisibles. Puis elles sont bien loin de représenter la composition moyenne de la prairie d'où elles proviennent. En effet, un grand nombre de semences tombent sur le pré pendant le transport des fourrages ; d'autres ne sont pas récoltées, parce que beaucoup de végétaux sont coupés avant ou après avoir mûri leurs graines. Enfin la quantité considérable de matières étrangères qui rentrent dans la composition des fonds de fenil, même lorsqu'ils sont nettoyés, donne à la semence un volume et un poids considérables. Il en faut jusqu'à 400 kilogrammes par hectare. C'est encore un inconvénient.

La terre doit avoir été ameublie profondément et la surface préparée comme une terre de jardin, c'est-à-dire bien divisée et nivelée ; sans ces précautions, la plupart des petites graines ne lèveraient pas. En exécutant les terrassements nécessaires à l'établissement de l'irrigation, on aura d'ailleurs eu soin de ne pas enfouir la bonne terre végétale, mais on l'aura réservée pour la couverture du sol. S'il en est besoin, on incorporera des engrais. On pourra presque toujours employer avec avantage lesscories de déphosphoration (1 000 kilogrammes à l'hectare) et le chlorure de potassium (2 à 300 kilogrammes à l'hectare). Le fumier de ferme est d'un emploi très



recommandable, surtout lorsqu'il s'agit de terres pauvres en matières organiques.

Composition pour prairies permanentes, d'après la Station d'essais de semences annexée à l'Institut national agronomique.

NATURE DES ESPÈCES VÉGÉTALES à employer.	I. TERRE APTE A PRODUIRE DU TRÈFLE VIOLET.		II. TERRE INAPTE A PRODUIRE DU TRÈFLE VIOLET.	
	Fraîche.	Sèche.	Fraîche.	Sèche.
	Kilos par hectare.	Kilos par hectare.	Kilos par hectare.	Kilos par hectare.
Trèfle violet.....	4	4,5	»	»
— hybride.....	2	4	2	4
— blanc.....	4,5	2	4,5	3
Lotier corniculé.....	3	»	3	»
Minette lupuline.....	»	»	»	»
Sainfoin double, à deux coupes.....	»	44	»	8
Anthyllide vulnéraire (trèfle jaune des sa- bles).....	»	2	»	2
Ray-grass anglais.....	4	5	4	4
— d'Italie.....	2	2	2	2
Fromental (avoine éle- vée).....	4	45	4	48
Dactyle pelotonné.....	5	7	5	7
Fléole des prés.....	3	2	3	1
Fétuque des prés.....	14	»	14	»
Crételle des prés.....	»	»	»	2
Vulpin des prés.....	»	»	»	»
Paturin des prés.....	2	»	2	»
— commun.....	4	»	4	»
Fétuque durette.....	»	»	»	»
Houlque laineuse.....	»	4	»	4

Les semences des prairies ont des densités très différentes.

Si l'on répandait en même temps les graines qui constituent le mélange, le semis serait très irrégulier. Aussi doit-on diviser les semences en deux lots. Le premier contient les graines *lourdes* : lotier, minette, anthyllide, fléole ; le second, les graines *légères* : ray-grass, fromental, dactyle, fétuques, cré-telle, vulpin, houlque. Et l'on sème successivement chacun

des lots. Il vaut beaucoup mieux employer un semoir à la volée que semer à la main. On choisit de préférence un temps couvert et calme. On enterre les graines du premier lot par un léger hersage. Si le temps est sec, on peut donner un coup de fort rouleau sur le second semis. Si l'air est calme et le sol humide, mieux vaut n'y pas toucher, ou bien se contenter de herser avec une herse légère formée de quelques bâtons auxquels sont liées des épines.

Le semis peut s'effectuer au printemps ou à l'automne.

Il doit être fait de bonne heure, à l'une ou à l'autre saison ; on sème de préférence à l'automne dans les pays chauds. Les plantes sont assez fortes l'année suivante pour résister à la chaleur de l'été. Dans les pays du Nord, le semis s'opère généralement au printemps. Il est recommandable de semer la prairie dans une plante qui servira d'abri. Elle garantira les jeunes herbes pendant leur premier développement. La céréale ou les autres plantes qui servent de couverture à la jeune prairie devront être semées, autant que possible, en lignes et très clair, afin de laisser plus tard de l'air et de la lumière aux jeunes herbes. On répandra environ les deux tiers de la dose de semence ordinairement employée. On n'attendra pas que la plante de couverture ait mûri ses graines pour la récolter. C'est généralement l'avoine de printemps ou le sarrasin que l'on choisit comme plante d'abri.

Il n'est pas toujours prudent de se servir d'une plante d'abri lorsque le sol a été profondément remué par des terrassements et qu'on y a établi de nombreux fossés d'irrigation. Il faut en effet récolter de bonne heure le fourrage vert. Et le passage de lourds véhicules sur ce sol non encore assis, entrecoupé de canaux, peut compromettre la régularité de la surface et le bon fonctionnement de l'irrigation.

Pendant les premières années, la prairie sera très claire, car les plantes qui la composent tallent très lentement. Il ne faudra pas trop s'inquiéter des plantes adventices qui pourront s'y montrer durant cette période. Elles ne tarderont généralement pas à céder le pas aux bonnes espèces au fur et à mesure que celles-ci se développeront. On pourra, de temps en temps, donner un coup de faux. On détruira ainsi les plantes



nuisibles sans causer grand dommage aux graminées ni aux légumineuses.

L'eau concourt puissamment au développement de la jeune prairie, mais il faut en user dans les premiers temps avec beaucoup de modération et de soins. On pourra l'employer à partir du moment où les plantes auront levé, en prenant bien garde qu'elle n'enlève pas les jeunes pousses et qu'elle ne ravine pas le sol. Il faudra ne la laisser couler qu'en mince filet. Elle aidera à lutter contre les sécheresses de l'été ; elle favorisera le tallage et donnera de la vigueur aux plantes.

Plus tard, lorsque l'herbe se sera enracinée davantage, l'irrigation pourra fonctionner normalement. Les racines, en se développant, consolideront peu à peu le terrain. On en profitera pour achever la construction des fossés et des rigoles.

Entretien des prairies irriguées.

Les prairies irriguées demandent beaucoup de soins. Si on les néglige, non seulement le capital qui a été engagé dans leur établissement est perdu, mais encore elles peuvent valoir moins qu'avant. Il est absolument nécessaire de s'en occuper. C'est une obligation qu'il faut sérieusement envisager avant de créer des prés irrigués. L'irrigation paie d'ailleurs très largement de retour. On doit donc veiller à ce que les canaux et les fossés soient en bon état de propreté, de manière que l'eau puisse y circuler librement ; sinon, des inondations partielles se produisent ; l'eau est gâchée, et la terre, submergée, transformée en marécage, se couvre de plantes aquatiques. On vérifiera l'état des écluses et des vannes, des ponceaux et autres petits ouvrages. On y exécutera toutes les réparations nécessaires. Il faudra extirper les mauvaises herbes, détruire, le cas échéant, les animaux nuisibles, disperser les taupinières. Au moment des arrosages, le préposé aux irrigations devra parcourir sans cesse la prairie. Il veillera à ce que l'eau s'écoule régulièrement, à ce que toutes les parties du pré soient également arrosées. Il devra sans cesse se transporter d'un endroit à un autre, ouvrir ou fermer les vannes, disposer dans les fossés les petits barrages constitués d'une plaque de tôle ou d'une



motte de gazon. Dès que commence la bonne saison, la pratique des arrosages suffit à absorber toute l'attention d'un homme actif et instruit, lorsque la surface des prés irrigués atteint une certaine importance.

On estime qu'un bon agent peut entretenir et surveiller l'arrosage d'une vingtaine d'hectares. Si la surface arrosée est moins considérable, on le chargera de travaux supplémentaires ; si elle est au contraire plus importante, on lui adjoindra des aides au moment des grands travaux. Il doit connaître et aimer son art. Suivant l'expression très juste de M. Charpentier de Cossigny, « un bon irrigateur est celui qui s'intéresse à sa prairie comme un bon berger à ses brebis ».

L'entretien des prairies comporte des soins multiples qui varient avec les saisons. Nous énumérerons ici les principaux. Les plus importants consistent dans la direction même des arrosages, dans la conduite de l'eau. Nous en parlerons à propos de la pratique des irrigations.

Curage des fossés et des canaux. — Il s'impose rigoureusement et doit s'effectuer en automne, fin septembre à commencement d'octobre, après l'enlèvement du regain, et au printemps. Il prépare ainsi successivement la bonne exécution des arrosages d'automne, qui sont les plus importants, au moins dans les régions septentrionales, et ceux du printemps.

Les fossés et les canaux se salissent rapidement pendant le fonctionnement de l'irrigation. L'eau y apporte de la terre, les racines des plantes s'y développent, des semences y tombent et germent.

Les plantes y poussent d'autant plus vite que l'eau est meilleure et la prairie plus fertile. Des feuilles mortes s'y réunissent, les obstruent parfois. Puis le passage des voitures et des instruments, le pas des hommes et des animaux éboulent les bords des canaux et des rigoles. Aussi leur profit se modifie-t-il rapidement. L'écoulement de l'eau en est profondément troublé et l'arrosage compromis.

Il est donc indispensable de refaire les bords des rigoles aux époques que nous venons d'indiquer. On y arrive facilement en délimitant le travail à l'aide d'un cordeau, et en se servant, pour attaquer le sol, de la bêche ou de la hache de



prairie. La terre que l'on extrait du sol en exécutant ce travail n'est pas perdue. Placée d'abord en petits tas à côté des rigoles, elle sert ensuite à surélever les parties du pré qui se sont abaissées. Si on n'en trouve pas l'emploi pour égaliser la surface, on l'épand régulièrement sur le pré, en fragments aussi fins que possible. Cette terre est particulièrement utile pour confectionner les ados naturels dont nous avons parlé.

En même temps qu'on nettoie les fossés, on doit aussi débarrasser la surface de la prairie des feuilles mortes qui la recouvrent en plus ou moins grande quantité. Le râteau à cheval est tout indiqué pour effectuer ce travail.



Fig. 87.— Confection des rigoles versantes en forme de V.
(Exploitation de M. P. de Malliard, à Saint-Loup-sur-Semouse,
Haute-Saône.)

Dès que le printemps est suffisamment avancé, les herbes poussent assez haut dans le voisinage des rigoles pour cacher celles-ci à la vue. Il est alors bon de faucher l'herbe sur la largeur d'un andain étroit, le long des rigoles les plus importantes, afin de pouvoir surveiller l'arrosage.

M. Pierre de Malliard, dont la belle exploitation de Saint-

Loup-sur-Semouse (Haute-Saône) a déjà servi à nos démonstrations, et à qui nous devons cinq jolies photographies, recommande de reconstruire chaque année les rigoles d'arrosage. La figure 87 représente les trois ouvriers occupés à ce travail. Ils doivent commencer par tendre un cordeau à 0^m,50 ou 1 mètre de l'ancienne rigole en forme de V (on voit ce cordeau sous la pioche de l'ouvrier de gauche). Deux hommes coupent le gazon à la pioche, en sens inverse. Le troisième rebouche l'ancienne raie, à l'aide d'une fourche, avec le prisme de gazon découpé. Ces trois ouvriers peuvent faire 500 à 600 mètres de rigoles par jour. Le mètre courant ne revient pas ainsi à plus de 1 centime. M. de Malliard les refait chaque année en les déplaçant chaque fois de 1 mètre. De cette façon, toutes les parties du pré profitent successivement de la première eau, du *gras de l'eau*.

Destruction des animaux et plantes nuisibles. — Les taupes rendent des services en chassant les courtilières et les insectes qui s'attaquent directement aux plantes. Mais elles nuisent encore plus à l'irrigation. Leurs longues galeries souterraines constituent un sérieux obstacle à la répartition uniforme de l'eau; puis elles bouleversent les travaux et obligent souvent à les recommencer. Enfin les *taupinières* s'opposent à la circulation de l'eau. Au printemps, avant la pousse de l'herbe, on doit donc les disperser en répandant à la surface de la prairie la terre fine qui les constitue.

Cette opération s'exécute aisément à la pelle, à la houe ou à la herse. Mais le *rabot des prés* permet d'aller plus vite. C'est un instrument très simple qu'un forgeron de village peut facilement construire. Il se compose essentiellement d'un châssis rectangulaire, dont les deux grands côtés, garnis de semelles de fer, forment patins et glissent sur le sol. Ce châssis porte trois traverses de bois. Les deux traverses postérieures, inclinées sur leur face d'avant, sont armées de deux planches. Les bords inférieurs de celles-ci arasent le niveau des patins, par conséquent le sol. Deux lames de fer feuillard, solidement fixées par des boulons sur ces planches, constituent la partie active de l'appareil. Lorsque le rabot est mis en mouvement, les taupinières et les monticules qui se trouvent sur son chemin sont



d'abord attaqués par la traverse d'avant. Leur destruction est achevée par des lames de fer ; la terre se dépose peu à peu dans les creux du gazon.

Beaucoup de plantes nuisibles qui infestent les prairies cèdent à l'irrigation, à un bon entretien et à l'apport des engrais qui conviennent au sol. Ainsi le chaulage détruit la petite oseille (*Rumex acetosella*). Les bruyères (*Cerica vulgaris*), les fougères (*Pteris aquilena*), les genêts (*Genista scoparia*) caractérisent les sols arides qui manquent d'acide phosphorique. L'application des phosphates les fait donc disparaître (1). Mal conduite, l'irrigation amène une humidité excessive du sol qui provoque l'apparition des chardons (*Cirsium*), des joncs (*Juncus*), des carex (*Carex*).

Les plantes annuelles, telles que le rhinanthé crête de coq (*Rhinanthus crista galli*), sont assez faciles à détruire. Il suffit de les faucher avant la floraison. On arrête ainsi leur reproduction. Il est moins aisé de se débarrasser des plantes vivaces. Elles ne cèdent qu'à l'arrachage direct et à l'amélioration du sol. Parmi ces dernières, la plus dangereuse est le colchique d'automne (*Colchicum autumnale*). C'est une plante vénéneuse, surtout à l'état vert. Mêlée au fourrage, elle peut causer des accidents mortels. Facilement reconnaissable à sa fleur lilas, qu'elle montre en automne, elle doit s'extirper au printemps. Les renoncules (*Ranunculus acris*, *Ranunculus bulbosus*) sont moins toxiques ; mais on doit aussi les détruire avec soin. On arrache aussi au printemps la grande patience (*Rumex patientia*) et la grande berce (*Heracleum sphondylium*), qui envahit rapidement les terres fraîches et fertiles.

On ne doit pas négliger les mousses. Elles cèdent généralement à quelques hersages pratiqués à l'aide des herse à mailles ou à chaînons. On peut aussi employer le sulfate de fer à la dose de 100 à 300 kilogrammes par hectare.

On débarrasse les prés des arbres de peu de valeur ; leurs racines épuisent le sol et leur ombrage nuit à l'herbe.

Enfin il convient de débarrasser la surface des prairies des

(1) Voy. GAROLA, Engrais (ENCYCLOPÉDIE AGRICOLE), J.-B. Baillière et fils, Paris, 4^e édition, 1912.



feuilles mortes, des menues branches et des petites pierres qui peuvent l'encombrer. Pour de grandes surfaces, on réunit avantageusement feuilles et branchages à l'aide du râteau à cheval.

Fenaïson. — Bien irrigués, bien soignés, les prairies donnent des récoltes précoces. C'est un avantage. Le cultivateur a tout intérêt à faire de bonne heure la fenaïson, afin d'avoir moins de besogne un peu plus tard, au moment de la moisson.

Les foins jeunes sont les plus riches et les plus facilement assimilables. Ils restent verts et sont plus appétissants. D'un autre côté, ils sont très aqueux et difficiles à faner. On doit donc les couper à la floraison, dans les premiers jours de juin pour le centre de la France ; mais, si l'on a une grande étendue à faucher, il faut nécessairement commencer la fenaïson de bonne heure. Mieux vaut, en effet, couper le fourrage un peu trop tôt que trop tard. Lorsqu'il a mûri, les parties les plus nutritives des substances qu'il contient dans ses tiges ont émigré dans leurs graines. Or, celles-ci tombent en grand nombre sur le sol, pendant la récolte et son transport. Elles se répandent dans les terres arables voisines au détriment des récoltes et sont perdues. En outre, le fourrage coupé tardivement, tandis qu'il n'est pas fané et qu'il reste en andains, résiste bien mieux à la pluie que le foin qui a mûri. Enfin une coupe tardive nuit à la repousse et par conséquent au regain.

Le fourrage coupé à la faux ou à la faucheuse forme sur le sol des bandes appelées *andains*. On le retourne à la fourche une ou plusieurs fois, suivant la température et la saison. Dans les grandes exploitations, on le secoue au moyen des faneuses mécaniques.

Quand on ne peut pas le rentrer dès le premier jour, le soir, le foin est disposé en petits tas appelés généralement *veillottes*. Il est mis ainsi à l'abri de la pluie et de la rosée, qui altèrent très vite le foin dès qu'il a subi les premiers effets du fanage. On disperse le lendemain ces veillottes jusqu'à ce qu'on puisse les rentrer. On les reconstitue après un nouveau fanage partiel. Aux environs de Paris et des grandes villes, le foin est bottelé. On augmente alors le second et le troisième jour la grosseur des veillottes, jusqu'à former des meulons de plusieurs



Fig. 88. — Emploi des *siccateurs à fourrage* ou *cavaliers* chez MM. Muret, à Noyen-sur-Seine. (Photographie de M. le D^r P. Regnard.)



Fig. 89. — Emploi des *siccateurs à fourrage* ou *cavaliers* chez MM. Muret, à Noyen-sur-Seine. (Photographie de M. le D^r P. Regnard.)

centaines de kilogrammes qui restent sur place jusqu'au moment du bottelage.

Le sol des prairies irriguées reste souvent mouillé, malgré le soin que l'on a d'interrompre les arrosages une quinzaine de jours avant la fenaison. Aussi emploie-t-on parfois des *cavaliers* ou *perroquets* pour mettre le fourrage à l'abri de la terre mouillée. Le fourrage disposé en tas légers sur ces appareils se fane rapidement et sans perdre les feuilles que les faneuses mécaniques arrachent trop souvent.

On se sert surtout de ces *séchoirs* dans certaines parties de l'Allemagne (Wurtemberg, Bavière), de la Suisse et de l'Autriche, en général dans les vallées étroites et humides où le soleil ne paraît pas longtemps.

En France, MM. Muret en font un large emploi sur les prairies irriguées de leur belle exploitation de Noyen-sur-Seine. MM. Muret appellent *siccateurs à fourrage* l'ingénieux modèle de *cavaliers* qu'ils ont adopté.

Les figures 88 et 89 montrent des siccateurs que l'on s'apprête à charger de foin et, à côté, des meulons déjà terminés.

Voici comment MM. Muret décrivent cet appareil, qui leur rend beaucoup de services et qu'ils ont répandu peu à peu autour d'eux :

Le *siccateur* consiste en un assez gros pieu d'environ 2^m,70 de longueur, taillé en pointe à l'une de ses extrémités, de manière à pouvoir être enfoncé dans le sol. Ce pieu porte de distance en distance des bras articulés disposés en spirales; au nombre de neuf, et fixés au moyen d'un fort clou qui sert de pivot. Des tasseaux en bois placés des deux côtés des bras rabattus les maintiennent solidement dans la position horizontale. Le tasseau inférieur empêche le bras de tomber, et le tasseau du haut s'oppose à ce que la charge arrache le clou servant d'axe de rotation. Le premier bras est à 0^m,50 du sol; la distance entre deux bras consécutifs est de 0^m,25. Le prix de l'appareil peut être évalué à 1 fr. 50 ou 2 francs.

Le moment venu, le siccateur est planté en terre. On ménage le trou qui le reçoit à l'aide d'une tige de fer pointue enfoncée à coups de maillet ou de marteau. On charge l'appareil



avec le foin coupé en commençant par les bras inférieurs. On a soin que les parties basses des meulons ne touchent pas le sol. L'air circule facilement à travers le fourrage et l'assèche rapidement sans qu'il ait perdu de feuilles. La pluie glisse sur la partie extérieure du dôme que forme le meulon, en sorte qu'à l'intérieur celui-ci reste sec.

MM. Muret ont constaté que le fourrage chargé sur ces cavaliers avait pu supporter des pluies continuelles de quinze jours sans être détérioré.

Chaque appareil peut supporter la valeur de treize à quinze bottes ou de quinze à dix-huit bottes de 5 kilogrammes, suivant qu'il s'agit de prairies naturelles ou de prairies artificielles.

Le fourrage étant sec, il suffit de démonter les meulons pour pouvoir le rentrer. Quant aux appareils, une fois leurs bras rabattus, ils ne prennent que très peu de place. Lorsqu'on n'en a plus besoin, on les abrite sous un hangar ou un appentis.

L'exploitation de Noyen-sur-Seine emploie un millier de siccateurs. Ce procédé de fanage a été adopté peu à peu dans plusieurs grandes fermes des environs.

Pâturage des prairies irriguées. — Les pieds des animaux détruisent les rigoles. Ils laissent dans le sol humide des trous qui se remplissent d'eau stagnante lorsque le terrain est imperméable. Les dommages sont d'autant plus grands que les animaux sont plus lourds, que le sol est moins perméable et qu'il a davantage de pente. Les prairies irriguées conviennent donc mieux à la production du foin qu'au pâturage. Cependant on peut être obligé d'y envoyer des animaux. Il faut alors prendre quelques précautions. Ce qu'il y a de mieux à faire, c'est de diviser les prairies en plusieurs parties, qu'on soumet à une rotation. On n'irrigue que très peu ou pas, sauf en temps de sécheresse prolongée, les flots où pâturent les animaux. Les autres sont arrosés avec d'autant plus de soin que l'irrigation dure moins longtemps. Il y a, du reste, tout avantage à faucher les pâturages une fois l'an. La coupe rajeunit les plantes, et surtout elle détruit les mauvaises herbes en les empêchant de se reproduire.



CHAPITRE XV

PRATIQUE DE L'ARROSAGE DES PRAIRIES.

Quantités d'eau employées. Arrosages suivant les saisons. Irrigations d'hiver. Irrigations d'été. — Nous avons déjà parlé des quantités d'eau employées. Leur détermination est liée à celle des saisons d'arrosage. On peut dire, en effet, qu'il y a deux sortes d'irrigations : les *irrigations fertilisantes*, qui apportent des engrais au sol, et les *irrigations ordinaires* ou d'arrosage, qui lui apportent surtout de l'eau. Les premières exigent beaucoup plus d'eau que les secondes. Elles se pratiquent principalement pendant l'automne et l'hiver, les autres pendant le printemps et l'été. Les premières fonctionnent du 1^{er} octobre au 1^{er} avril, avec des intermittences variables ; les secondes, pendant le reste de l'année. Les pays du Nord, qui possèdent généralement beaucoup d'eau, l'Allemagne, l'Angleterre ; les Vosges et le Centre, en France, emploient presque exclusivement les irrigations hivernales. L'Italie leur doit les marécages de la Lombardie, mais celles-ci en tirent parti à un autre point de vue. Le midi de la France, où l'eau est plus rare, ne recourt guère qu'aux irrigations d'arrosage. Les irrigations fertilisantes de l'hiver n'excluent pas d'ailleurs les secondes. Et c'est ainsi que les prés de l'Allemagne, des Vosges françaises et du centre de notre pays reçoivent non seulement de l'eau en hiver, mais encore durant l'été. D'un autre côté, les irrigations estivales donnent aussi un appoint important de substances utiles. Et les irrigations d'hiver, comme les pluies de cette saison, emmagasinent dans le sol des réserves d'eau pour la sécheresse. On ne peut donc pas les séparer très nettement les unes des autres. Mais les irrigations d'hiver, pour être efficaces, exigent des quantités d'eau supérieures à celles que demandent les irrigations estivales. Celles-ci ont surtout pour but d'apporter au sol l'eau qui manque. Elles complètent les pluies, de manière que la terre contienne les 20 à 25 p. 100



d'humidité qu'exige la végétation. Nous avons dit ailleurs comment on pouvait approximativement déterminer la quantité d'eau que ce genre d'irrigation doit apporter.

On compare la quantité de pluie qui tombe sur le sol pendant la période active de la végétation à la quantité d'eau que les récoltes mettent en œuvre. Le résultat de l'opération doit être corrigé à l'aide d'un coefficient qui tient compte de la nature du sol et du sous-sol, de l'évaporation, de la pente du terrain et du système d'arrosage adopté. Quoi qu'il en soit, on trouve par cette méthode que, pour le midi de la France, l'irrigation qui complète l'action des pluies doit apporter annuellement, à l'hectare, environ 15 000 mètres cubes d'eau. Ce volume correspond à peu près à celui que fournit l'écoulement continu de 1 litre par seconde et par hectare pendant les six mois de la période active de la végétation, du 1^{er} avril au 1^{er} octobre. Et c'est, en effet, ce chiffre que la pratique a sanctionné et que l'administration adopte pour le règlement des concessions d'eau ; mais il serait trop élevé pour des arrosages faits sous un climat humide et sur des sols argileux. Et ce serait une faute de le prendre comme minimum et de l'appliquer d'une manière générale.

Il y a des régions où les pluies suffisent à la production des fourrages, par exemple en Bretagne ; mais il n'en est pas ainsi autour de Paris. Si, sous le climat des environs de Paris, il y a des prairies qui donnent de bonnes récoltes, c'est qu'elles sont situées dans des vallons ou du moins en contre-bas de champs et reçoivent ainsi, outre les pluies tombées directement sur elles, les eaux qui découlent des terrains plus élevés qui les entourent.

Les irrigations d'hiver se poursuivent, en général, du 1^{er} octobre au 1^{er} avril. Depuis le mois de décembre, elles ont lieu pendant le repos de la végétation. A partir de cette époque, elles agissent donc directement sur le sol et non sur les plantes. Les recherches qu'Hervé-Mangon a effectuées comparative-ment dans les Vosges et dans le Vaucluse montrent que, durant l'hiver, les eaux apportent surtout de l'oxygène et des matières minérales. Elles fournissent aussi de l'azote au sol, mais les plantes n'en profitent que durant l'été.



Les irrigations pratiquées à l'automne et en hiver ont donc pour résultat principal de fertiliser le sol. Elles ne répondent plus immédiatement au besoin d'eau des plantes, et, par conséquent, ce n'est plus lui qui peut en régler l'importance.

D'une manière générale, les irrigations fertilisantes emploient plus d'eau que les arrosages ordinaires, et les quantités qu'elles mettent en jeu sont très variables. Elles dépendent de la richesse des eaux en principes utiles et des débits disponibles. Foltz fait varier entre 65 et 90 litres par seconde et par hectare la quantité d'eau qui est donnée aux prés des Vosges. Hervé-Mangon élève ces chiffres jusqu'à 68 et 217 litres. Vincent estimait à 121 litres par seconde et par hectare le débit nécessaire aux irrigations fertilisantes du nord de l'Allemagne. En Belgique, Keelhoff se contente de 31 litres en moyenne.

La diversité de ces chiffres montre que l'on ne peut énoncer une règle générale. Il faut ajouter que trop souvent les arrosages sont limités par la faible quantité d'eau dont on dispose. En pratique, il faut bien se contenter de donner ce que l'on a. Enfin, dans le cas où l'on disposerait d'eaux abondantes, mais pauvres en principes fertilisants, il ne faudrait pas, en été, abuser des arrosages à grands volumes. On risquerait de *lessiver* le sol, de l'appauvrir et même de modifier sensiblement ses propriétés physiques en entraînant le calcaire. Puis on sait que les plantes venues dans des terres trop humides perdent de leur valeur nutritive et de leur saveur.

QUANTITÉS OPTIMA D'EAU A DONNER. — MM. Müntz, Faure et Lainé (Voy. p. 66 à 77) ont étudié cette question au cours des recherches que nous avons signalées. La perméabilité des terres intervient ici encore. Si ces quantités optimales ne sont pas rigoureusement proportionnelles à la perméabilité, elles croissent cependant avec elle. Ces quantités doivent être telles, d'après MM. Müntz et ses collaborateurs, que l'eau parvienne juste à l'extrémité de la planche arrosée. Les agriculteurs demandent à tort des aiguades plus fortes : elles s'écoulent en pure perte dans les colatures et peuvent même nuire aux récoltes.



ESPACEMENT DES ARROSAGES. — Étant donné un même volume d'eau mis à la disposition du cultivateur, en combien d'arrosages doit-il le distribuer, et à quels intervalles, pour obtenir la plus forte récolte?

Si les arrosages doivent être plus abondants sur les terres perméables, ils sont nécessairement plus espacés. Inversement, leur répétition à doses faibles sur des terres imperméables s'imposerait si des considérations d'ordre économique ne venaient pas la limiter très rapidement.

Irrigation par ruissellement. Quelques principes d'une application générale. — Nous avons dit combien il était difficile d'établir des principes généraux en matière d'irrigation. Voici, cependant, quelques préceptes que nous pouvons considérer comme la base de la conduite des irrigations par ruissellement :

1° L'eau doit arriver régulièrement partout, mais ne séjourner nulle part. Donc elle doit être constamment en mouvement, ne jamais former de flaques ni de mares, qui deviendraient vite des marécages ;

2° L'eau doit en partie pénétrer dans le sol et le traverser. Elle ne doit pas y rester stagnante. Par conséquent, il faut que toute irrigation soit accompagnée et suivie d'un drainage naturel ou artificiel aussi complet que possible ;

3° L'irrigation doit donc être intermittente ;

4° On doit interrompre les irrigations d'autant plus fréquemment que la végétation est plus avancée, que le sol est plus argileux ou que les prés ont moins de pente ;

5° L'irrigation doit être complète, c'est-à-dire suffisamment abondante pendant un temps assez long ;

6° On ne doit renouveler les arrosages qu'autant qu'il en est réellement besoin ;

7° A moins qu'on ne dispose de grandes masses d'eau ou de sources dont la température soit supérieure à celle de l'air atmosphérique, il ne faut pas arroser quand il y a lieu de craindre les gelées. En hiver, et surtout au printemps, il faut, au contraire, laisser le sol s'égoutter quand le froid menace ;

8° On ne doit arroser ni en hiver, ni au printemps avec de



l'eau dont la température est plus basse que celle du sol ou de l'air ;

9° En été, on ne doit pas irriguer en plein soleil, ni au moment où l'évaporation s'exerce le plus activement. Cette règle doit être observée avec d'autant plus de soin que l'eau est plus froide. Nous en avons donné l'explication page 89 ;

10° En général, pour arroser, mieux vaut choisir, quand on le peut, un temps calme. Un temps brumeux et même pluvieux vaut mieux qu'un temps serein. En été, surtout, c'est l'entrée de la nuit et le matin qui sont les moments les plus favorables à l'irrigation ;

11° Les arrosages doivent cesser avant la fauchaison. Dans les climats septentrionaux, on les interrompt un mois avant. Autrement, les hautes herbes verseraient et pourriraient les plantes tardives qui poussent dessous. Dans les climats secs, la verse est moins à craindre ; il suffit d'arrêter les irrigations quinze jours avant la récolte. Cette manière de procéder permet aussi au sol de se rasseoir. Il supportera donc avec plus de facilité le passage des machines agricoles ;

12° Aux approches de la récolte, il faut s'abstenir d'arroser longtemps avec des eaux chargées de limon, parce qu'elles recouvriraient le fourrage de terre et qu'elles le gâteraient ;

13° En été, l'eau peut contenir des conferves. C'est un signe de bonne qualité, comme l'on sait. Mais il faut veiller à ce que ces conferves ne se développent pas à la surface des prés. Elles les couvriraient vite d'un mucilage qui détruirait les jeunes plantes. On pare à ce danger en ne laissant pas trop longtemps les eaux sur le pré, en renouvelant fréquemment les intermittences. Si ce moyen ne réussit pas, Vincent conseille d'assécher le sol, puis de ne plus l'arroser qu'avec parcimonie, de manière que le mucilage formé par les conferves soit seulement humide. On pourra reprendre les arrosages lorsque ces plantes auront grandi, et les conferves, en se décomposant, serviront d'engrais ;

14° Immédiatement après l'enlèvement du foin, on donne l'eau de nouveau afin de préparer la pousse du regain. On suspend les ouvrages en temps opportun pour la récolte de la nouvelle coupe ;



15° Toute irrigation rationnelle doit être accompagnée de l'emploi d'engrais appropriés aux circonstances.

Intermittences dans les irrigations d'été et d'hiver.

— La règle fondamentale de l'irrigation, c'est que tout arrosage soit suivi d'un égouttement du sol aussi complet que possible. Pas d'irrigation profitable si l'eau ne peut simultanément traverser librement le sol et si les arrosages ne sont pas suivis d'un assainissement convenable du terrain.

C'est que l'un des effets les plus utiles des arrosages se manifeste dans l'aération, dans l'oxygénation du sol. A ce point de vue, l'eau exerce une double action. En pénétrant dans le sol, elle chasse l'air vicié, épuisé par les réactions chimiques et les combustions lentes qui se produisent au sein de la terre. Elle apporte l'oxygène qu'elle tient en dissolution et que la terre respire en quelque sorte. Ce phénomène, les autres circonstances restant d'ailleurs les mêmes, est d'autant plus actif que le volume d'eau qui traverse le sol dans l'unité de temps est plus considérable. Puis, lorsque l'irrigation sera suspendue et que le sol s'égouttera, l'air extérieur y pénétrera largement. Il y sera appelé par le vide que l'eau, en s'écoulant, aura produit dans les canaux capillaires qui parcourent la terre. La connaissance de ce double phénomène explique pourquoi les intervalles que l'on doit observer dans les arrosages diffèrent beaucoup suivant les saisons.

En hiver, la végétation est endormie. L'irrigation s'adresse directement au sol. C'est lui qui utilise l'oxygène, les substances fertilisantes que l'eau apporte et qui bénéficie de sa température quand elle est suffisamment élevée. Il n'y a pas lieu de provoquer une aération énergique du sol. La quantité d'oxygène dissous dans l'eau suffit aux oxydations lentes qui se poursuivent dans la terre. On peut donc continuer assez longtemps les arrosages et ne les interrompre que lorsque la température le permet. Mais, en été, il en est tout autrement. La végétation, qui est à ce moment dans toute son activité, a besoin de trouver dans le sol de larges provisions d'oxygène. La quantité d'oxygène dissoute dans l'eau d'irrigation est insuffisante. La pénétration fréquente de l'air atmosphérique au sein du sol est indispensable. Si elle était trop espacée, les



bonnes plantes disparaîtraient peu à peu. Elles seraient remplacées par les plantes dont les racines se plaisent dans les sols saturés d'eau, joncs, laiches, etc. En été, il faut donc suspendre les arrosages plus fréquemment qu'en hiver et pendant plus longtemps. Entraînée par la pesanteur, l'eau s'écoule vers les rigoles et les fossés, ou bien elle descend dans les couches profondes du terrain. Elle abandonne donc les interstices capillaires du sol. Elle y produit ainsi un vide relatif, une succion qui attire l'air extérieur, et celui-ci vient la remplacer.

En hiver, dans certains prés, l'eau peut ruisseler pendant plusieurs semaines sur le sol. Mais, à partir du moment où la température se maintient à quelques degrés au-dessus de zéro, où l'herbe commence à reverdir, il convient de réduire la durée des arrosages, d'abord à quatre ou cinq jours avec des intervalles de trois à quatre jours, puis à un ou deux jours et même à quelques heures, au fur et à mesure que la température s'élève et que la végétation devient de plus en plus active.

Cette règle est d'ailleurs en harmonie avec les conditions naturelles de l'irrigation. On dispose de quantités d'eau plus considérables en hiver qu'en été. Durant la saison chaude, les propriétaires riverains d'un canal d'irrigation ne reçoivent l'eau qu'à tour de rôle. D'un autre côté, les usufructiers ou propriétaires d'un ruisseau ou d'une rivière ne disposent généralement pas d'assez d'eau pour arroser à volonté. Afin d'arriver à un débit suffisant, ils sont obligés de concentrer ce qu'ils ont sur une portion seulement de l'étendue de leurs prairies. Ils sont amenés ainsi à établir une *rotation d'eau* et, par conséquent, à faire suivre les arrosages d'intermittences plus ou moins longues.

La saison et la température ne sont pas du reste les seuls facteurs qui interviennent dans la durée des arrosages.

La nature du sol et sa pente jouent également un rôle important dans la question.

Plus le terrain est perméable, plus l'irrigation peut être prolongée. La pente exerce une action dans le même sens.

Conduite de l'eau au moment des gelées. — L'eau, en se congelant dans le sol, déchausse les plantes et en déchire les tissus. Aussi convient-il de suspendre les arrosages quand on



craint la gelée. On recommande de les arrêter assez tôt pour que le sol soit ressuyé assez profondément. Cette précaution s'impose surtout au printemps, lorsque la végétation a repris et quand on ne dispose que de faibles quantités d'eau.

Les irrigateurs habiles s'abstiennent des petits arrosages tant que la clarté du ciel et les vents du nord annoncent des gelées.

Mais, quand on dispose de grands volumes d'eau, on ne cesse les irrigations que lorsque le temps devient doux. Il faut se garder de les interrompre brusquement au moment d'un grand froid.

Au printemps, les eaux fournissent un moyen précieux de préservation contre les gelées, surtout si elles proviennent des rivières. Les eaux courantes, qui, à cette époque, peuvent avoir de 10 à 12°, résistent généralement aux gelées blanches et ne se glacent pas. Elles sauvent les collets des herbes et les pousses à peine écloses (Vidalin).

Irrigations d'automne.— On peut discuter sur l'opportunité des arrosages d'hiver. Mais tout le monde s'entend sur l'efficacité des arrosages d'automne au point de vue de l'apport des matières fertilisantes. A cette époque, les eaux des rivières et des ruisseaux sont particulièrement riches. Les pluies y amènent le gras des champs qu'elles ont lavés.

Puis leur température est plus élevée que celle de l'air.

Elles stimulent donc les plantes. Celles-ci s'enracinent fortement et se préparent ainsi à lutter contre les rigueurs de l'hiver.

Jusqu'au milieu de novembre, on peut continuer l'arrosage sur la même surface, jour et nuit, sans interruption, pendant une, deux ou trois semaines. A partir de la mi-novembre, on doit craindre la gelée. Alors on laisse la prairie à sec pendant un court espace de temps, afin qu'elle s'assèche. S'il ne survient pas de gelée, on peut recommencer les arrosages. Mais il faut les suspendre tous les deux ou trois jours afin que le sol ne soit pas trop mouillé et qu'on puisse facilement l'assécher dès que survient le froid.

Si la température reste douce, on peut poursuivre l'irri-



gation jusque vers le 15 décembre. Mais, si l'eau commence à geler avant cette époque, il faut cesser les arrosages et abandonner la prairie au sommeil hivernal.

Il y a des prairies dans les Vosges qui reçoivent l'eau pendant tout l'hiver. Les marcites du Milanais doivent leurs récoltes extraordinaires aux arrosages effectués durant cette saison. Mais ces pratiques résultent de conditions spéciales. On dispose dans les Vosges de quantités d'eau considérables. Les eaux qui arrosent les prés lombards sont aussi données abondamment, à la dose de 42 litres par seconde et par hectare, suivant M. Hérisson. Mais, en outre, elles proviennent de sources, et leur température est sensiblement plus élevée que celle de l'air. Elles couvrent le sol d'un voile d'eau qui empêche son refroidissement et même qui l'échauffe, grâce à sa propre chaleur. On cesse les arrosages, si l'on peut craindre que l'eau ne gèle sur les ailes des ados. L'eau des *fontanili* (1) atteint une température de 10 à 11°, et elle permet naturellement de faire ce qui serait impossible avec l'eau des canaux, qui est souvent à 3 ou 4° seulement au-dessus de la température de l'air.

D'une manière générale, est-il avantageux d'arroser l'hiver?

Cela dépend de la température et de la quantité d'eau dont on peut user. Si cette eau est à une température convenable, si le sol n'est pas gelé, on peut arroser. Il serait même permis de continuer l'arrosage si l'eau se recouvrait de neige ou de glaçons, mais à la condition qu'elle continue à courir. Il est rare soit que l'on ait assez d'eau, soit que la température permette d'agir ainsi. Habituellement, les fossés se couvrent de glaçons, l'eau cesse d'y arriver, la glace se forme dans le sol, le soulève et déchausse les racines. Que l'on vienne à irriguer un sol qui a été soumis à un froid vif, la glace superficielle fondra. Mais, si le froid revient, il surviendra un nouveau gel, au grand détriment des plantes. Aussi est-il raisonnable de recommander, sauf exceptions motivées par le climat et le régime des eaux, de laisser les prés à sec depuis le commencement des gelées jusqu'à la fin de l'hiver et de ne pas se laisser

(1) Les *fontanili* sont les sources dont on se sert pour ces irrigations (Voy. p. 150).



séduire par les apports fertilisants des rivières en janvier.

Lorsque le temps est doux, l'arrosage produit de bons effets. Mais, si le froid survient, toute la récolte de l'année peut être compromise.

Irrigations de printemps. — L'irrigation de printemps, au moins dans les pays du Nord et du Centre, peut encore passer pour fertilisante. Quel en est le moment favorable? Les avis sont partagés : les uns disent mars, les autres avril. Les premiers rayons du soleil printanier sont dangereux quand ils frappent un sol qui renferme de la glace. Celle-ci fond en effet ; le sol s'affaisse et les plantes en souffrent. Un bon arrosage fait alors beaucoup de bien. Mais, si la gelée menace de continuer, si le vent est froid, mieux vaut ne rien faire, surtout si l'eau provient de neiges fondues, si elle a passé sur des terres stériles et que la végétation commence à se réveiller.

Dans les régions du Nord et du Centre, on peut commencer l'irrigation dans les premiers jours de mars, aussitôt que l'on suppose que l'hiver est terminé. On arrose d'une manière ininterrompue jusqu'à ce que la terre soit dégélée, puis on s'arrête et on laisse le sol s'assécher.

On recommence les arrosages vers la mi-avril. On donne d'abord l'eau aussi largement que possible, en la laissant huit à quatorze jours, sans interruption, sur la même parcelle, jusqu'à ce que les pointes fines des herbes commencent à surgir de la nappe d'eau. A partir de ce moment, on irrigue avec précaution ; les journées deviennent chaudes, mais l'eau est encore froide. Aussi on n'envoie pas d'eau sur le pré, on le laisse s'échauffer lorsque le temps est clair, le soleil chaud et que le vent est doux. Au contraire, on irrigue avec énergie lorsque le temps est froid, à bourrasques, et que l'on craint les gelées blanches. Si la gelée a déjà saisi la prairie, si le temps est clair et chaud, on arrose avant que le soleil ne soit haut à l'horizon, afin d'éviter l'action néfaste d'un brusque dégel. Durant cette période, l'eau est changée de place tous les deux ou trois jours.

Le départ ou l'arrivée de l'eau se fait toujours vers le soir au moment où le soleil va se retirer.

Si la prairie présente des parties où l'herbe est grossière, mêlée de mousse, il n'est pas nécessaire de la traiter avec

autant de précaution ; au contraire, il est bon de l'arroser d'une façon continue au printemps, surtout quand l'eau entraîne beaucoup de terre en suspension.

Cette terre, en se déposant, détruit la mousse, puis elle achève, s'il y a lieu, le nivellement du sol. La destruction de la mousse ne dépend pas de la fertilité particulière du dépôt, car le sable fin lui-même produit de bons effets sur les prairies moussues (Jean Bignon) (1).

Irrigations d'été. — Les irrigations de printemps cessent à une époque que l'on ne peut déterminer. Elle dépend des régions, de l'arrivée plus ou moins prompte des chaleurs et de la sécheresse. Toujours est-il qu'il convient, à un moment donné, de réduire les arrosages. L'eau que l'on envoie sur la prairie ne sert plus que comme agent de dissolution pour les aliments des plantes, et surtout elle entretient leur transpiration. La prairie ne réclame alors que peu d'eau et pendant peu de temps. Donnée en trop grande quantité, l'eau refroidit le sol, empêche l'air d'arriver aux racines, abîme même les herbes. L'eau des rivières et des ruisseaux contient souvent en cette saison de petites algues, des matières végétales à peine visibles, de la vase, qui se déposent sur les tiges des plantes. Celles-ci donnent alors un foin qui peut être nuisible aux animaux, surtout aux moutons. On donne l'eau tous les cinq, huit à dix jours, suivant le sol, durant une nuit.

Toutefois, si le temps devient froid, on irriguera encore d'une manière continue, même s'il pleut, mais en ayant soin de ne pas arroser les herbes longues. On conserve ainsi au sol une bonne température. Souvent il suffit, dans les pays du Nord et du Centre, durant les étés chauds, d'entretenir l'humidité du sol en laissant l'eau couler dans les rigoles.

On cesse les arrosages une quinzaine de jours avant la coupe, afin de laisser le sol se rasseoir, s'affermir. Après la coupe, on laisse le sol sécher pendant dix à quinze jours. On profite de ce temps pour réparer les fossés que la récolte a pu endommager. Ce travail achevé, on envoie l'eau de nouveau, sans interruption, mais avec modération, pendant une huitaine de

(1) JEAN BIGNON, *Annales de l'Institut agronomique*, 1^{re} série, t. XI.



jours. On laisse le sol s'assécher, puis on arrose comme on le faisait dans le temps qui a précédé la récolte.

Suivant l'état de l'atmosphère et suivant le sol, on donne donc l'eau toutes les cinq à huit nuits, si l'on peut.

Que le temps devienne froid, ou qu'il pleuve abondamment, on arrosera jour et nuit comme cela a été déjà recommandé. On cessera aussitôt que le temps redeviendra chaud.

Si l'on attend une troisième coupe, on suivra les mêmes pratiques qu'après la première. Toutefois on mettra les prairies plus tôt à sec, car, les nuits devenant plus froides, le sol s'asséchera moins facilement.

Application des engrais.

Dans le volume consacré aux *Engrais* qui fait partie de cette ENCYCLOPÉDIE AGRICOLE, M. Garola estime qu'avec une bonne organisation des prairies, en ne négligeant ni les irrigations, ni les fumures, le cultivateur progressiste ne doit pas exiger moins de 50 à 70 quintaux de foin à l'hectare. Or, le quintal de foin moyen récolté, renfermant encore 15 p. 100 d'eau, contient :

Azote.....	1 ^{kg} ,86
Acide phosphorique.....	0 ^{kg} ,50
Potasse.....	2 ^{kg} ,21
Chaux.....	1 ^{kg} ,24

Une récolte de 70 quintaux enlève donc annuellement à la prairie :

Azote.....	130 kilogrammes.
Acide phosphorique.....	35 —
Potasse.....	155 —
Chaux.....	87 —

D'autre part, une récolte équivalente de blé exporterait en moyenne, d'après les analyses de M. Joulie reproduites par M. Risler dans sa *Physiologie et culture du blé* :

Azote.....	82 ^{kg} ,11
Acide phosphorique.....	31 ^{kg} ,29
Chaux.....	17 ^{kg} ,22
Potasse.....	39 ^{kg} ,13

La récolte de 70 quintaux de blé à l'hectare, paille et grain, est exceptionnelle, et cependant on voit qu'elle appauvrit beaucoup moins le sol que la récolte correspondante de foin. Cela est surtout sensible pour la potasse. Le sol de la prairie, il est vrai, s'enrichit en azote grâce aux légumineuses ; mais celles-ci disparaissent vite de la flore avec l'appauvrissement du sol en potasse. Et d'ailleurs le stock d'azote constitué dans la prairie n'est utilisable par les plantes qu'à la condition que l'élément calcaire ne manque pas. Or la production de l'herbe, comme nous venons de le voir, exporte aussi de la chaux en quantité importante. C'est donc une faute grave de croire que la production du foin exige moins d'engrais que celle du blé.

Il faut que les plantes de prairie trouvent disponibles dans le sol les matières fertilisantes qu'elles exportent. Il faut donc restituer les matières minérales ; les légumineuses fixent l'azote de l'air, en sorte que le sol des prairies, quand elles sont anciennes, contient naturellement de l'azote. Mais cet azote ne devient assimilable qu'à la condition de se trouver en présence de l'oxygène et de la chaux. L'irrigation, qui aère puissamment le sol, apporte naturellement l'oxygène. Elle n'apporte pas toujours le calcaire. On doit alors le fournir au pré.

La quantité de chaux comme les quantités d'acide phosphorique et de potasse qu'il convient de donner à une prairie irriguée dépendent de la richesse du sol et de celle des eaux d'arrosage. On a beaucoup discuté autrefois sur la nécessité de fumer les prés arrosés. Certains agronomes ont prétendu que l'eau suffisait à tout et rendait superflu tout achat d'engrais. Cette généralisation conduit à une erreur grave. La fertilité ne s'improvise pas, et elle ne se maintient qu'à la condition que le cultivateur obéisse à la loi de restitution qui s'applique aussi bien aux prairies arrosées qu'aux autres. L'eau, en solubilisant les éléments nutritifs des plantes, stimule la production végétale ; elle mobilise le stock qui préexiste dans la terre. En outre, elle entraîne par simple dissolution une partie des éléments utiles que le sol renferme. Elle lui donne les éléments qu'il ne possède pas, mais elle lui enlève ceux qu'il possède et qu'elle n'a pas. L'irrigation pratiquée sur des terres pauvres, avec des eaux dépourvues de substances ferti-



lisantes, épuiserait donc bien vite le sol, si elle n'était pas accompagnée des engrais appropriés. Les récoltes baisseraient rapidement, en même temps que la composition de la flore se modifierait au point de vue chimique et botanique, les légumineuses cédant le pas aux graminées. Le foin deviendrait progressivement moins abondant et beaucoup moins nutritif.

Il y a des eaux d'une richesse telle qu'elles suffisent à donner de belles récoltes et à entretenir la fertilité lorsque l'on peut les donner en quantités suffisantes : telles les eaux d'égout, les eaux résiduaires de certaines industries.

La nature et les doses nécessaires d'engrais dépendent donc de la composition du sol, de celle des eaux et de l'importance des récoltes. Il peut être dangereux d'arroser les terres trop abondamment avec des eaux pauvres ou même incomplètes au point de vue de la fertilité. Ces eaux apportent, par exemple, de la potasse à l'exclusion de la chaux et de l'acide phosphorique. Elles amènent immédiatement sur un sol fertile de belles récoltes, mais cela aux dépens des quantités d'acide phosphorique et de chaux qu'il contient ; peu à peu sa fertilité disparaît, et d'autant plus vite que l'irrigation est plus abondante.

Quand on ne possède pas d'eaux riches, il faut s'efforcer d'irriguer assez pour mettre à la disposition des plantes les quantités de substances fertilisantes que l'on peut restituer au sol par les engrais ; mais il ne faudrait pas aller au delà.

Rappelons que, *lorsque l'eau est riche en éléments fertilisants, il en faut moins pour former la matière sèche contenue dans la récolte* (Voy. p. 21 et 179).

Pour déterminer la nature des divers éléments fertilisants que réclame la prairie, il est un moyen aussi simple que certain : il consiste, suivant l'expression spirituelle de Bous-singault, à interroger les plantes. Les prairies sont généralement très riches en azote ; on se bornera donc à déterminer leurs exigences en acide phosphorique, potasse et chaux. A cet effet, on établira trois parcelles, sur lesquelles on appliquera à l'hectare :

1° 1 000 kilogrammes de scories + 200 kilogrammes de chlorure de potassium ;



2^o 1 000 kilogrammes de scories ;

3^o 500 kilogrammes de chaux + 200 kilogrammes de chlorure de potassium.

Les écarts entre les rendements des parcelles 1 et 2 donneront la mesure de l'efficacité de la potasse ; les écarts constatés entre 1 et 3, celle de l'acide phosphorique.

Le chaulage des vieilles prairies non irriguées est toujours avantageux ; il peut en être autrement pour les prairies qui reçoivent des eaux calcaires. Les scories apportent 50 p. 100 environ de leur poids de chaux : la dose n'est pas toujours suffisante, et l'essai précédent ne permet pas de s'en rendre compte. Un an ou deux ans après l'application des premiers engrais, on répandra sur la moitié de la parcelle 2 000 à 4 000 kilogrammes de chaux en poudre ; par la suite, on jugera de son efficacité. Pourquoi retarder l'application de la chaux ? En l'employant en même temps que les scories, elle influencerait défavorablement l'action de celles-ci et pourrait en masquer en partie les effets.

Quand on possède un semoir à engrais, les essais méthodiques dont nous venons de parler sont très faciles à exécuter : on établit alors de longues parcelles de la largeur seulement du semoir et séparées par des intervalles de 3 à 4 mètres ; si le terrain n'est pas homogène, il est indispensable que les bandes coupent les différentes parties de la prairie qui ont des compositions différentes.

Nous renvoyons d'ailleurs le lecteur à l'excellent ouvrage de M. Garola sur *les Engrais*, qui fait partie de cette *Encyclopédie Agricole*.



TROISIEME PARTIE

DÉFENSE CONTRE LES EAUX

CHAPITRE I

INCONVÉNIENTS D'UN EXCÈS D'EAU DANS LE SOL.

Nous avons expliqué longuement quel est le rôle extrêmement important que l'eau remplit dans la végétation. Mais l'eau en excès peut devenir nuisible. Et alors il faut s'en débarrasser. A partir de quel moment l'eau est-elle nuisible? Et pourquoi? En nous rappelant quelle est la constitution physique intime du sol, nous serons en mesure de répondre à la première question. La terre arable est formée de particules plus ou moins fines percées de pores, isolées les unes des autres, séparées par des canaux très petits. Lorsque la terre est très sèche, pores et canaux sont vides. Tombe-t-il un peu de pluie, les pores s'en emparent d'abord avidement. La terre, pétrie dans la main, donne alors une impression de moiteur. Les canaux capillaires sont encore vides; l'air et l'eau peuvent y circuler aisément. Et l'eau, continuant à tomber, peut y passer facilement pour aller humecter les couches plus profondes. Mais bientôt, la pluie ne cessant pas, les canaux capillaires se gorgent d'eau. Et, si cette eau ne trouve pas un écoulement, la terre devient imperméable. Les espaces capillaires sont obstrués. Ni l'air ni l'eau n'y peuvent circuler. C'est ce qui se passe pour les terres argileuses.

La terre moite, qui ne contient que l'eau retenue dans ses



pores, est au contraire favorable au développement des plantes. C'est dans cet état heureux que M. de Gasparin la qualifie de *fraîche*. Le degré au-dessus duquel un sol devient trop humide dépend de sa constitution physique. Nous avons dit (p. 90) qu'une terre pouvait être considérée comme trop humide lorsqu'elle renfermait une quantité d'eau supérieure aux 25 p. 100 de son volume. L'eau qui remplit les interstices du sol et qui demeure *immobile* est nuisible. Tout autre serait-elle si, douée de mouvement, elle circulait dans les canaux capillaires. La porosité naturelle du sous-sol lui assure cette mobilité. Le drainage n'a d'autre but que de la lui donner artificiellement. Et l'irrigation n'est possible qu'à la condition que les eaux qu'elle apporte soient mobiles.

C'est alors que l'eau est vraiment un merveilleux agent de fertilité. *On peut dire que le point de départ de la nuisance de l'eau, c'est sa stagnation à la surface de la terre ou dans son sein.*

Énumérons les inconvénients de l'excès d'eau dans le sol.

I. — Les labours sont extrêmement difficiles dans les terres humides. Parfois les animaux ne peuvent même pas y entrer. L'agriculteur est obligé d'attendre que la chaleur solaire les ait séchées. Alors, il est en présence d'un sol dur, compact, que les instruments aratoires ont une peine extrême à entamer. Nous avons dit déjà que les terres argileuses, qui retiennent fortement l'eau, sont celles qui durcissent le plus à cause de la finesse de leurs éléments. Des expériences dynamométriques ont montré que, dans des sols humides, la charrue pouvait exiger un effort de traction supplémentaire de 25 à 30 p. 100. Les binages, les sarclages, sont également difficiles. En outre, le travail est mal fait. La terre reste en grosses mottes dures. Ces mottes compactes deviennent, en temps de sécheresse, impénétrables à l'eau ; en sorte que, circonstance aggravante, ces terres trop humides en hiver ou au printemps sont trop sèches en été quand les plantes manquent d'eau. Leur état boueux persiste jusqu'aux premiers jours du printemps. Le cultivateur ne peut effectuer aussitôt qu'il conviendrait les semailles de cette saison. Par une année humide, il est quelquefois obligé de les reculer jusqu'à la fin d'avril ou au commencement de



mai, d'où un grand retard dans la croissance des plantes et leur maturité.

II. — Une terre trop humide ne donne qu'un mauvais foin. Mais le cultivateur n'est pas même sûr de pouvoir le récolter. La fenaison s'opère mal sur un sol humide. L'humidité du sol et celle de l'air détruisent vite la récolte, qui bientôt n'est plus bonne qu'à faire de la litière. Les chars, les animaux, les hommes même défoncent le sol en y circulant. Les roues y creusent des ornières.

III. — M. Risler a décrit (1) ce qui se passe en hiver dans une terre qui renferme beaucoup d'eau. Le froid pénètre peu à peu dans le sol humide et congèle l'eau par couches successives. En se congelant, l'eau se dilate dans tous les sens autour de la jeune tige de blé. Elle agit sur elle comme une tenaille au moyen de laquelle on arrache un clou : d'un côté, elle la pince ; de l'autre, elle cherche à la séparer de la terre sous-jacente qui n'est pas encore gelée et des racines inférieures qui s'y trouvent. Si cette tenaille de glace réussit à couper la tige, ce qui, malheureusement, arrive souvent, et si les racines supérieures ne sont pas encore formées, la plante est perdue.

IV. — L'un des inconvénients graves des terres trop humides, c'est qu'elles sont *froides*. Tous les phénomènes de la vie végétale réclament de la chaleur. Il faut que les tiges et les feuilles baignent dans une atmosphère chaude, qu'elles reçoivent les rayons du soleil. Il faut aussi que les racines profitent d'une certaine chaleur. Les plantes peuvent avoir les pieds plus froids que la tête. Mais il faut cependant aux racines une certaine chaleur, afin que puissent normalement se produire les phénomènes respiratoires et osmotiques dont elles sont le siège. On connaît maintenant l'importance du rôle des microbes dans la décomposition des matières organiques, c'est-à-dire, en somme, dans la préparation des aliments des plantes. Le rôle de ces microbes et de ces ferments est favorisé par la chaleur. Or, une terre humide est exposée à des pertes considérables de calories, et, en outre, elle est privée des restitutions dont bénéficient les terres sèches. L'évaporation est une première cause de

(1) RISLER, *Physiologie et culture du blé*, 2^e édition, 1887, p. 120.

déperdition. L'eau s'évapore à toutes les températures. Mais, quand on ne lui fournit pas de chaleur, elle prend aux corps qui l'environnent ce qu'il en faut à sa vaporisation. On appelle calorie la quantité de chaleur qui est nécessaire pour élever de 1 degré la température de 1 kilogramme d'eau. C'est l'unité de mesure des quantités de chaleur. Les physiciens ont trouvé que la quantité de chaleur absorbée par 1 kilogramme d'eau pour se transformer en vapeur à la même température était de 550 calories. Ces 550 calories absorbées par l'eau uniquement pour devenir vapeur, sans que sa température change, ne sont pas sensibles. Ce sont des calories cachées en quelque sorte. On dit qu'elles représentent de la *chaleur latente*.

La *chaleur totale* contenue dans la vapeur, c'est-à-dire la somme de la chaleur latente et de celle qui est sensible au thermomètre, est constante et égale à 650 calories. Il s'ensuit que chaque kilogramme d'eau que le sol perd par évaporation lui enlève une quantité de chaleur considérable. Leclerc (1) estime que l'évaporation de 1 kilogramme d'eau abaisse de 1 degré la température de 550 kilogrammes de terre. Pour fixer les idées, Leclerc a calculé la quantité de chaleur qui serait nécessaire pour vaporiser la portion des précipités atmosphériques qui tombent, et qui, sous le climat belge, ne sont ni repris immédiatement par l'atmosphère, ni absorbés par les besoins des plantes. Il a trouvé que la chaleur perdue par 1 hectare de terrain, lorsque celui-ci retient cette portion des précipités atmosphériques, équivaut à celle que produirait la combustion complète de 266 205 kilogrammes de charbon. Pour placer cet hectare de terrain dans les mêmes conditions qu'un terrain poreux ou artificiellement rendu perméable, il faudrait y faire brûler près de 750 kilogrammes de charbon par jour. Nous avons cité cette évaluation parce que, malgré qu'elle ne soit qu'une approximation assez vague, elle donne une idée de la quantité de chaleur très grande que le sol humide perd par évaporation. D'ailleurs, l'évaporation fatale qui s'y produit n'est pas la seule cause de son refroidissement. Au pouvoir émissif de l'eau qu'il contient, il doit de rayonner lui-même fortement. Il

(1) J.-M.-J. LECLERC, Traité de drainage, 3^e édition, 1866.



est très probable que, renfermées dans le sol, les couches aqueuses descendent de la surface vers le fond et sont remplacées par des couches plus chaudes qui se refroidissent à leur tour. L'eau sert alors de véhicule à la chaleur du sol, l'amène à la surface et la disperse dans l'atmosphère. Ce n'est qu'en hiver, lorsque la température extérieure descend au-dessous de $4^{\circ},1$, que ce phénomène ne se produit pas. L'eau acquiert en effet à cette température, comme on le sait, son maximum de densité. Au-dessous, elle devient plus légère, et elle reste à la surface des couches sous-jacentes, dont la température ne peut plus s'abaisser que par conductibilité.

Un sol humide, avons-nous dit, perd de la chaleur. Il en récupère très difficilement.

En effet, d'abord, l'eau étant un très mauvais conducteur de la chaleur, le sol humide est lui-même mauvais conducteur. Il en résulte que la chaleur solaire, qui pénètre assez facilement dans les couches d'un sol sec, est arrêtée tout près de la surface d'un sol humide. Aussi, à quelques centimètres de profondeur, les terrains marécageux gardent-ils la même température, même au moment des grandes chaleurs de l'été.

L'évaporation, comme nous venons de le montrer, absorbe sous forme de chaleur latente une quantité énorme des calories emmagasinées dans le sol par la chaleur solaire ; la rosée, en se formant, produit le phénomène inverse. La vapeur, en se réduisant en eau, abandonne la quantité de chaleur qu'elle avait absorbée pour se former. La rosée est plus chaude par conséquent que le terrain sur lequel elle se dépose. Ce n'est pas seulement à la surface du sol que peut se former la rosée. De véritables rosées intérieures se produisent dans le sein des sols poreux. Les couches inférieures, sèches, de ces sols sont souvent plus froides, pendant le jour, que l'air chargé de vapeur qui les baigne. Il en résulte un dépôt de rosée qui vient compenser dans une certaine mesure la déperdition de chaleur qui se produit à leur surface par rayonnement ou évaporation. Mais les sols humides ne bénéficient pas de ces restitutions, à moins qu'ils ne soient drainés. La rosée ne se dépose pas sur un sol mouillé. Et leurs particules sont baignées non pas d'air,



mais d'eau, en sorte que la formation d'une rosée intérieure y est matériellement impossible.

Les pluies sont généralement plus froides que le sol qui les reçoit. Elles abaissent donc sa température. Lorsque le sol est perméable, ou qu'il est drainé, elles apportent aux couches profondes la quantité de chaleur qu'elles ont ainsi enlevée aux couches superficielles. Mais, lorsqu'il est imperméable, c'est encore une perte sans compensation.

D'ailleurs, l'expérience directe a montré des différences de température entre les sols humides et les sols secs de même nature et de même exposition, qui contrôlent ce que nous venons de dire. C'est ainsi que Schubler, à la suite d'expériences de laboratoire, a recueilli des chiffres que nous avons déjà donnés et qui sont assez probants. Un Anglais connu pour ses travaux sur le drainage, Josiah Parkes, a réuni des observations qui sont d'autant plus intéressantes qu'il a opéré sur des terres en place, c'est-à-dire qu'il s'est mis dans les conditions naturelles. Les moyennes de trente-cinq observations faites avec beaucoup de soin lui ont montré que la température d'un sol drainé excédait de 5°,5 celle du même terrain voisin et non drainé.

J. Parkes a montré que, conformément à ce que nous avons tout à l'heure avancé, l'action des pluies contribue à élever dans une forte proportion la température du sous-sol lorsqu'elles peuvent traverser les couches sous-jacentes. Il constata qu'après une forte pluie d'orage la température d'un sol drainé à 0^m,175 de profondeur fut élevée de près de 2 degrés, malgré qu'elle eût atteint cependant son maximum ordinaire de la journée.

V. — Mais l'un des inconvénients les plus graves des terres humides, le plus grave d'entre tous, sans doute, c'est leur impenétrabilité à l'air.

L'eau contient de l'air en dissolution. Une terre qui serait constamment arrosée laisserait les plantes vivre ; les racines y trouveraient encore de l'oxygène. Mais, lorsque l'eau qui imbibe une terre ne se renouvelle pas, les racines meurent. Elles sont asphyxiées, parce que l'oxygène a vite disparu et que l'air extérieur ne peut rentrer. Or, non seulement cet oxy-



gène est nécessaire à la respiration des racines, mais il est encore indispensable aux transformations chimiques si complexes qui se passent dans le sein de la terre ; ces transformations président à la décomposition des fragments de roches dont le sol est composé, à celle des matières organiques, à l'assimilation des engrais. Elles préparent ainsi l'alimentation des plantes en organisant pour ainsi dire la fertilité (1).

La terre est non seulement un magasin où sont réunies les matières premières qui servent à l'alimentation des plantes, mais c'est encore une usine où ces matériaux sont transformés pour devenir des aliments. L'un des agents les plus actifs de cette transformation, c'est l'oxygène. Il manque aux terres humides. Le ferment nitrique transforme les matières azotées insolubles en acide nitrique et en nitrate assimilable. Il joue ainsi un rôle capital dans l'alimentation végétale, car on sait quel prix il faut attacher à l'azote assimilable. Ce ferment ne peut fonctionner qu'en présence de l'oxygène, puisqu'il le fixe précisément sur les matières azotées qu'il oxyde. Une terre submergée, abandonnée à elle-même, se charge de produits acides, tels que les acides ulmique, humique et tannique, qui sont impropres à la vie des plantes. Le produit de la respiration des racines, l'acide carbonique, se dissout dans l'eau. Ainsi aiguisée, celle-ci devient un utile agent de décomposition des fragments minéraux qui forment le sol. D'autres ferments aérobies, c'est-à-dire qui ont besoin d'oxygène, sont utiles à l'alimentation des plantes et ne peuvent prospérer que dans les sols aérés.

La pluie ne pénètre pas dans un sol trop humide, parce que, l'eau qu'il contient étant immobilisée dans les canaux capillaires, ceux-ci sont pleins. L'eau que contient la terre ne circule donc pas, et l'air extérieur ne pénètre pas davantage. Il en est tout autrement lorsque l'eau qui imbibe le sol trouve son écoulement. Le drainage aère le sol. Nous le démontrerons en étudiant un peu plus loin (Voy. p. 409) les effets du drainage.

(1) Le fer réduit à l'état de protoxyde devient nuisible pour la plupart des plantes, tandis qu'à l'état de peroxyde il leur est très utile ; aussi la couleur bleuâtre du sol indique un état malsain, tandis que la couleur jaune rougeâtre indique un sol sain.

VI. — Les engrais, pour s'assimiler, ont besoin, nous le savons, de trouver de l'humidité dans le sol ; mais un excès d'eau diminue leur action fertilisante, en retarde l'assimilation. L'eau en excès lave les terres et en extrait mécaniquement les principes utiles.

VII. — On ne le sait que trop, depuis longtemps, les contrées marécageuses sont aussi dangereuses à l'homme qu'aux animaux. Les fièvres paludéennes sont le fléau des terrains recouverts d'étangs ou même des sols très humides parsemés de marais. Durand-Claye donne, dans son *Traité d'hydraulique agricole* (1), le tableau suivant, qui fait ressortir l'influence des miasmes paludéens sur la durée de la vie moyenne dans les Dombes et en Sologne.

		RAPPORT DES ÉTANGS à la surface totale.	DURÉE de la VIE MOYENNE.
Dombes...	{ Birieux.....	0,426	14 ans.
	{ Saint-Germain..	0,270	19 —
	{ Villars.....	0,346	23 —
	{ Chalamont.....	0,251	29 —
	{ Loiret.....	0,041	22 —
Sologne...	{ Loir-et-Cher....	0,007	30 —
	{ Loir-et-Cher....	0,045	29 —
	{ Cher.....	0,014	34 —
		0,906	30 —

Ces chiffres se rapportent certainement à l'état sanitaire de ces pays avant leur assainissement. Ils sont aujourd'hui, en effet, parfaitement salubres dans leur plus grande étendue. Mais ils montrent quelle a pu être à un moment donné l'influence désastreuse de vastes étendues marécageuses.

Les animaux souffrent eux-mêmes beaucoup de l'excès d'humidité. Ils sont atteints, les moutons en particulier, de maladies spéciales. Les chevaux et les bovidés qui paissent sur des prairies dont le sol noyé d'eau est mou ont les pieds plats, mal

(1) DURAND-CLAYE et P. LAUNAY, *Traité d'hydraulique agricole et de génie rural*, Paris, 1892, t. II.



conformés. En été, ils sont la proie des insectes : taons et moustiques. Le bétail ne peut se contenter du mauvais foin que donnent les prairies humides. On s'en aperçoit à la diminution de la sécrétion lactée chez les vaches, au manque d'ossature chez les animaux, à leur état de maigreur. Les plantes elles-mêmes sont atteintes de maladies. La rouille des céréales est très fréquente dans les terrains humides. La vigne souffre surtout d'un excès d'humidité. On peut dire que c'est là l'un de ses plus dangereux ennemis. Il développe l'anthracnose, le pourridié, la chlorose ou jaunisse, etc. Les essences forestières et les arbres fruitiers ne vivent jamais que misérablement dans les sols trop humides. D'abord ils y sont mal enracinés. Puis leur tronc se recouvre de mousses et de lichens. Enfin les feuilles attaquées par de nombreux parasites ne remplissent pas convenablement leurs fonctions. La vie du végétal s'en ressent et, par conséquent, l'importance de son produit. L'humidité favorise merveilleusement la germination et le développement de tous les parasites végétaux qui menacent constamment nos cultures et qui constituent pour elles des ennemis extrêmement dangereux.

VIII. — Les récoltes qu'on obtient sur des sols trop humides sont nécessairement de mauvaise qualité. Les prairies, par exemple, ne donnent qu'un foin inférieur, comme qualité et comme quantité. Les mauvaises herbes pullulent bien vite sur ces sols. Elles étouffent les bonnes plantes. Il devient fort difficile de les faire disparaître. Le *poivre d'eau* (*Polygonum hydropiper*) est caractéristique, dans la Brie, des terrains encore humides. Il persiste même souvent après qu'ils ont été drainés. On n'en vient à bout qu'avec beaucoup de peine. Il en est de même pour le chiendent, l'avoine à chapelêt, les prêles, etc.

L'une des plantes les plus dangereuses que l'on rencontre toujours dans les prairies humides, c'est le *colchique d'automne* (*Colchicum autumnale*). Tout le monde connaît ses larges feuilles, ses fleurs lilas qui apparaissent à l'arrière-saison, et son fruit bulbeux. C'est un poison pour le bétail. Il sait l'éviter au pâturage. Mais il faut se garder de le mélanger par inadvertance au fourrage qui est consommé à l'étable. Les animaux le prendraient, et une petite quantité peut les empoisonner.



On se débarrasse du colchique en arrachant le bulbe et en empêchant les graines de mûrir et de se répandre sur la prairie. C'est, avec les joncs, les prêles, les renoncules, les laïches, le populage, les oseilles, le foin d'eau, un indice certain de l'utilité du drainage. L'excès d'eau supprimé, ces mauvaises plantes cèdent la place aux bonnes. Le drainage est le seul moyen efficace de les faire disparaître.

M. Boitel (1) a déterminé la nature de la végétation spontanée qui recouvrait, avant son assainissement par le drainage, une pièce de terre de la ferme de la Ménagerie, dépendance de l'ancien Institut agronomique de Versailles. Cette pièce était formée d'argile verte de nature plastique, un peu calcaire. A l'exemple de Barral, nous reproduisons cette intéressante détermination, parce qu'elle peut servir d'exemple (2). Le

Chiffres proportionnels.	Noms latins des espèces.	Noms vulgaires.
100	<i>Juncus communis.</i>	Jonc commun.
83	<i>Plantago lanceolata.</i>	Plantain lancéolé.
67	<i>Colchicum autumnale.</i>	Colchique d'automne.
50	<i>Equisetum arvense.</i>	Prêle, queue de cheval coudée.
50	<i>Ranunculus acris, bulbosus.</i>	Renoncule.
50	<i>Carex riparia.</i>	Laïche.
50	<i>Hypericum tetrapterum.</i>	Millepertuis des marais.
33	<i>Ajuga generensis.</i>	Bugle.
33	<i>Cirsium palustre.</i>	Chardon des marais.
33	<i>Cardamina pratensis.</i>	Cardamine des prés.
33	<i>Agrimonia eupatoria.</i>	Aigremoine.
17	<i>Valeriana dioica.</i>	Valériane dioïque.
17	<i>Caltha palustris.</i>	Populage des marais.
17	<i>Rumex acetosa crispus.</i>	Oseille ordinaire, oseille crépue.
1,2	<i>Trifolium pratense, T. repens.</i>	Trèfle ordinaire, blanc.
0,8	<i>Orchis latifolia.</i>	Orchis à large feuille.
0,4	<i>Anthoxanthum odoratum.</i>	Flouve odorante.

(1) M. Boitel fut inspecteur général de l'Agriculture et professeur à l'Institut agronomique reconstitué à Paris en 1876. Il avait été professeur au premier Institut agronomique, qui fut installé en 1849 à Versailles.

(2) BARRAL, Drainage, 2^e édition, t. I.

chiffre 100 représente, dans le tableau précédent, l'espèce la plus commune ; les autres espèces ont des chiffres de plus en plus bas, à mesure qu'elles deviennent plus rares.

Ainsi, comme le fait remarquer Boitel, dans cette flore, seuls le trèfle et la flouve sont agréables aux animaux. Les autres plantes sont toutes mauvaises, caractéristiques d'ailleurs des sols humides, et l'on voit en quelles faibles proportions le trèfle et la flouve entrent dans la composition de ces tristes pâturages ; encore la flouve odorante est-elle une plante de peu de valeur.

IX. — La *capacité pour l'air* des sols, à laquelle des expériences récentes (Voy. p. 58) prêtent une importance très grande dans l'appréciation de leur fertilité, est faible dans les terres trop humides. Elle descend très sensiblement au-dessous de 10 p. 100 dans les terres profondes et fertiles de la Bohême lorsqu'elles contiennent trop d'eau.

*
* *

Nous avons montré, dans un chapitre précédent, les bienfaits qu'apporte l'eau à la terre. Nous venons de passer en revue les inconvénients de toute nature qu'elle entraîne lorsqu'elle est en excès, qu'elle ne circule pas à travers les pores et les canaux interstitiels du terrain. Elle peut être la meilleure amie ou l'ennemie la pire de l'agriculteur. C'est seulement lorsqu'elle tend à humecter le sol dans les proportions idéales qu'a fixées M. de Gasparin que, sous des climats appropriés, elle court à la surface et traverse rapidement ses couches superficielles ; c'est seulement dans ces heureuses circonstances qu'on peut répéter avec le grand agronome :

$$\text{FERTILITÉ} = \text{CHALEUR} \times \text{HUMIDITÉ.}$$



CHAPITRE II

INDICES ET ORIGINES DE L'EXCÈS D'EAU
DANS LE SOL.

Indices de l'excès d'eau. — On prévoit, d'après ce que nous venons de dire, que ce n'est ni la composition chimique, ni même la composition physique de la terre arable qui sont capables de fournir des renseignements définitifs sur son état d'humidité. La proximité d'un sous-sol argileux, par exemple, empêchera un terrain sablonneux de s'égoutter convenablement.

Il faut tenir compte de la formation des sources, des infiltrations, etc., toutes circonstances qui ne dépendent pas complètement de la nature du sol cultivé. Mais il est vrai que le terrain qui a besoin d'être assaini ne se reconnaît la plupart du temps que trop facilement. Longtemps après la pluie, les animaux et les hommes s'y enfoncent. Les travaux aratoires y sont difficiles. La charrue trace des sillons que lustre le versoir. Les eaux de pluie s'y rassemblent, et elles y croupissent longtemps.

L'aspect noirâtre du sol, l'apparition de vapeurs le matin ou après un coup de soleil sont autant de mauvais signes. Une flore spéciale, caractéristique, permet de compléter ce facile diagnostic : *joncs, laïches, prêles, roseaux, colchique d'automne, renoncules, orchis, cardamine, populage* infestent les terrains humides. Les sources ne jaillissent pas toujours en claires fontaines. Elles manifestent souvent leur présence par des *mouillères* ; celles-ci tachent le sol de larges plaques qui restent constamment d'une couleur plus sombre que le terrain avoisinant. La neige qui s'y accumule est la dernière à disparaître. Quelquefois, cependant, aucun signe extérieur ne révèle à l'œil, d'une manière sensible, la présence de l'eau. Cependant le sous-sol reste très humide au printemps et après une pluie. Mais l'aspect misérable des récoltes montre le mal dont elles souffrent. Trop fréquemment les semailles d'hiver sont perdues. Les céréales deviennent tardives et, par conséquent, exposées à l'échaudage.

Les paysans connaissent généralement bien leurs terres.



Grâce à des observations quotidiennes, ils savent si l'humidité persiste à toute époque de l'année, ou si, au contraire, elle disparaît pendant les temps de sécheresse. Dans le premier cas, l'eau en excès provient généralement de l'existence d'une couche imperméable sur laquelle repose le sol arable. Dans le second, il s'agit de sources intermittentes, souterraines, qui ne fonctionnent qu'après la pluie. Il faut tenir compte de toutes ces observations lorsque l'on se propose d'assainir une région. Pour constater la présence flagrante de l'eau dans le sol, on y creuse des *trous d'essais* d'une profondeur de 1^m,50 à 2 mètres. L'eau y séjourne-t-elle après une pluie, jusqu'à 0^m,50 et même 1 mètre de la surface, c'est qu'il faut drainer le terrain. D'après le temps qui s'écoulera jusqu'à ce que le niveau de l'eau dans ces trous s'établisse à une hauteur à peu près constante, et d'après cette hauteur, on pourra déduire des renseignements utiles sur la nappe souterraine.

Cette eau montera d'autant plus près de la surface du sol que la constitution physique de celui-ci sera plus favorable à la capillarité, comme nous l'avons expliqué ailleurs. Il est recommandable de disposer ces trous de manière que les uns occupent le haut du terrain et les autres les parties basses, les plus éprouvées par l'eau. Afin qu'ils subsistent, on y introduit verticalement de petites planches. Elles forment un puits étroit, à section rectangulaire ou carrée, qui protège les bords. On les laisse saillir un peu à la surface du sol, afin de reconnaître leur emplacement. Ce procédé très simple donne une idée de la nappe souterraine, de sa profondeur, de ses variations. Il fournit d'utiles indications. On le complétera en étudiant la nature physique du sol et du sous-sol, sa pente, etc.

La hauteur que peut ou que doit atteindre le niveau de l'eau souterraine dépend non seulement de la nature du sol et du sous-sol, du climat, de l'exposition, mais encore des cultures. Le riz, par exemple, est cultivé dans l'eau. On peut dire que, dans nos pays, pour les sols arables portant des céréales et des plantes sarclées, l'eau souterraine ne doit pas se rapprocher à plus de 0^m,80 de la surface du terrain. Par le drainage, même, on la fait descendre à 1^m,25 ou 1 mètre. Les prairies supportent mieux le voisinage de l'eau, et, même, elles en

ont besoin dans certaines limites. On ne doit pas l'abaisser à plus de 0^m,80 lorsqu'elles ne sont pas irriguées, à plus de 1 mètre quand elles sont arrosées. On ne peut dire qu'un pré est trop humide que lorsque, pendant la période végétative, le plan de l'eau se rapproche de la surface à moins de 0^m,60. Il est évident d'ailleurs qu'il est impossible d'établir une règle fixe. Un sol de faible capillarité, sablonneux, supporte plus facilement le voisinage de l'eau souterraine qu'un terrain argileux, compact. C'est affaire au cultivateur, ou à l'ingénieur agricole, de se prononcer en examinant avec soin le sol.

Rappelons encore ici que, d'après Kopetzky, la valeur de la *capacité des sols pour l'air* indique la nécessité de drainer ou non et que sa détermination doit faire partie toujours des études préliminaires du drainage. Il convient de drainer lorsqu'elle descend au-dessous de 8 p. 100 pour les prairies et de 14 p. 100 pour les céréales. Toutefois il s'agit ici des terres profondes et fertiles de la Bohême.

*** Origine des eaux nuisibles dans le sol.** — L'excès d'humidité des terres remonte, principalement, aux causes suivantes :

1° Dans le cas le plus simple, le sol est imperméable sur une assez grande profondeur, dénué de pente, ou sa pente est faible. Les eaux de pluie s'y emmagasinent et n'en sortent plus qu'à la longue, en s'évaporant peu à peu. Aux eaux qui tombent directement sur le sol peuvent s'ajouter celles qui ruissellent sur les pentes voisines ;

2° Le terrain est plus ou moins perméable, mais il repose sur une couche imperméable, située à une faible profondeur, à peu près horizontale ou formant cuvette. L'eau s'accumule au-dessus et peut atteindre la région exploitée par les plantes. L'humidité croissante nuit d'autant plus à la végétation que l'on envisage les parties les plus basses du terrain ;

3° Au voisinage de l'affleurement de la couche imperméable et au-dessous d'elle, apparaissent des sources, des *mouillères* ou des suintements qui rendent la culture impossible tant qu'ils ne sont pas supprimés ;



4° Le sol cultivé est limité par un cours d'eau, et alors il est exposé à plusieurs genres d'inondation. S'il est assez perméable, les eaux de la rivière le pénètrent ; si le lit est irrégulier, se déplace, les eaux l'envahissent. Enfin il est encore menacé du fait de barrages trop élevés ou si, faute de curages suffisants, le lit de la rivière s'élève peu à peu ;

5° Les eaux souterraines n'aboutissent pas à un collecteur convenable : étang, lac, cours d'eau, et elles envahissent peu à peu les couches superficielles du terrain, au moins à certaines époques de l'année.

Les terrains envahis par les eaux nuisibles présentent des aspects différents suivant leur constitution physique, leur topographie et suivant que ces eaux sont plus ou moins abondantes. Ils peuvent être simplement *humides*, lorsque le niveau des eaux souterraines est trop élevé ; *marécageux*, si ce niveau atteint presque leur surface. Enfin, s'il la dépasse sensiblement, on se trouve en présence d'étendues plus ou moins vastes recouvertes par les eaux : *marais* ou *étangs*.

Le rapide examen que nous venons de faire montre, en dernière analyse, que les eaux surabondantes appartiennent à l'une des deux catégories suivantes :

1° *Elles proviennent des pluies et des neiges tombées directement sur le terrain qu'il s'agit d'assainir ;*

2° *Elles proviennent non seulement des pluies et des neiges qui sont tombées sur ce terrain, mais encore de celles qui sont tombées en amont sur une surface plus ou moins considérable, quelquefois très éloignée, et qui se sont jointes aux premières par ruissellement, infiltration ou débordement.*

Les eaux de la première catégorie sont rarement assez abondantes en été pour nuire à la végétation. Souvent, elles ne suffisent pas à ses besoins. C'est alors qu'on utilise pour l'irrigation les eaux des rivières voisines, qui se rattachent naturellement à la seconde catégorie. C'est seulement en hiver que les pluies ou les neiges fondues peuvent raviner les terres fortes, si leur surface est en pente, ou rester stagnantes, si elle est très plate ou forme cuvette. Le drainage sert à la fois à empêcher ce ravinement et à faciliter l'infiltration de l'excès d'eau dans le sous-sol, où elle se conserve pour subvenir aux besoins

de la végétation pendant le printemps et l'été. C'est pour ces *eaux de surface* que le drainage général et régulier des terres (*Thorough draining*) a été imaginé.

Quant aux eaux qui arrivent des terrains supérieurs, soit en ruisselant à leur surface, soit après s'être infiltrées dans les couches perméables et s'y être accumulées en nappes souterraines, elles débordent sur certains points en *sources* plus ou moins abondantes et plus ou moins régulières, où elles forment des *mouillères* dans les prés et les champs. Ce sont ces eaux-là que tantôt l'on draine suivant les anciennes méthodes, en les *détournant* pour qu'elles ne nuisent plus sur les points où elles s'accumulaient, mais servent au contraire à arroser des sols trop secs ; et que, tantôt, l'on *capte* pour alimenter les fontaines des fermes et des villages.

CHAPITRE III

ASSAINISSEMENT, DESSÈCHEMENT, DRAINAGE.

Définition. — Employé dans son sens le plus étendu, le terme ASSAINISSEMENT spécifie les opérations, quelles qu'elles soient, qui ont pour fin de débarrasser le sol des eaux surabondantes.

Ici, nous lui donnerons un sens plus restreint. Nous l'emploierons pour désigner les travaux qui concernent les grandes surfaces et la défense contre les eaux de la deuxième catégorie, telles que nous venons de les définir. Nous réserverons le mot DRAINAGE, mot d'origine anglaise qui signifie *égouttement*, aux opérations qui visent surtout la défense contre les eaux de la première catégorie.

L'assainissement et le drainage débarrassent le sol des eaux nuisibles. Et ils réalisent simultanément toutes les améliorations qui en résultent, notamment l'aération du sol, son réchauffement, la pénétration de l'eau dans le sous-sol, où elle s'emmagasine pour abreuver les plantes à la saison chaude.

L'ASSAINISSEMENT comprend plusieurs méthodes. La plus



fréquemment employée consiste à recevoir les eaux nuisibles dans des *fossés ouverts*, suffisamment profonds et convenablement dirigés. Lorsque le territoire est menacé par des eaux superficielles voisines, on l'entoure d'une digue protectrice.

Le *colmatage* représente une deuxième méthode. C'est un procédé très ingénieux grâce auquel on parvient à dessécher un marais en élevant peu à peu le fond au-dessus du niveau de la rivière voisine, de manière qu'il s'égoutte dans son lit.

Aux procédés d'assainissement, nous rattacherons l'*assèchement du sol par les plantes*.

L'ASSAINISSEMENT intéresse surtout les grandes surfaces. Il donne lieu à des travaux plus ou moins considérables que seuls l'État et les grandes compagnies peuvent entreprendre. On ne peut pas le recommander pour traiter les petites étendues. Il n'est pas assez énergique et ne donne que des résultats inférieurs à ceux du drainage. C'est un *procédé extensif*.

Le DRAINAGE emploie, pour assécher le sol, un réseau de conduites souterraines appelées *drains*. Il concerne pour ainsi dire exclusivement les eaux de la première catégorie. Beaucoup plus énergiques que celles de l'assainissement, ses méthodes nécessitent des dépenses relativement plus élevées. C'est un *procédé intensif*.

Le drainage est une opération essentiellement agricole. C'est de lui surtout que nous nous occuperons dans ce volume. L'assainissement des grandes surfaces n'a qu'une importance secondaire en France. En effet, d'après les documents officiels remontant déjà à une cinquantaine d'années, il n'existait alors en France que 215 000 hectares environ qui fussent occupés par des marécages et des étangs.

Par contre, d'après un rapport présenté en 1878 au ministère des Travaux publics, il y avait alors 4 000 000 d'hectares susceptibles d'être drainés avec profit. Il y en avait eu 9 000 000, d'après l'exposé des motifs du projet de loi relatif au drainage présenté en 1856 au Corps législatif.



I. — ASSAINISSEMENT DES TERRES NE RECEVANT QUE LES PLUIES QUI TOMBENT DIRECTEMENT SUR ELLES.

CHAPITRE IV

DÉFINITION ET HISTORIQUE DU DRAINAGE.

Définition. — Nous avons appelé **DRAINAGE** l'assainissement méthodique des terres trop humides, ne recevant d'autres eaux que celles qui tombent directement sur elles, à l'aide d'un réseau de conduites souterraines. Ces conduites peuvent être établies en terre cuite, en tourbe ou en pierres. On peut leur assimiler les fossés garnis au fond de pierres concassées ou de fascines et comblés de terre. C'est le drainage ancien, qui remonte à l'antiquité. Dans le drainage perfectionné ou moderne, les conduites sont constituées par des tuyaux de terre cuite (fig. 90) disposés dans le sol suivant un ordre déterminé et formant un réseau.

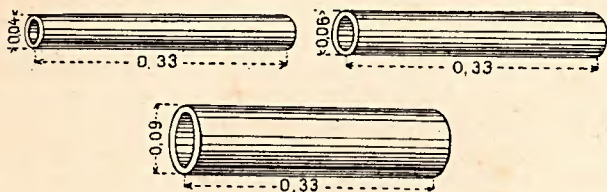


Fig. 90. — Drains et collecteur.

Un réseau de drainage forme donc un tout complet systématique (fig. 86).

Il comprend deux catégories de tuyaux :

1° Les petits *drains* *d* (fig. 91). Ils reçoivent directement les eaux du terrain à assainir. Ils mesurent 5 centimètres de diamètre et 0^m,33 environ de longueur. Placés bout à bout, ils sont disposés sous le sol en longues files parallèles de



150 mètres de longueur au maximum, équidistantes ;

2° Les *collecteurs* CC dans lesquels se déversent les drains. Ils mesurent de 65 à 160 millimètres de diamètre. Réunis bout à bout, leur longueur totale ne doit pas dépasser 1 000 mètres. Les collecteurs amènent directement l'eau soit au *canal de décharge* ou *émissaire* RR, soit à d'autres collecteurs. Il y a donc des collecteurs de premier, deuxième ou troisième rang. Le collecteur du dernier rang qui débouche dans l'émissaire s'appelle *collecteur principal*.

Son point de jonction B avec le canal s'appelle *bouche*.

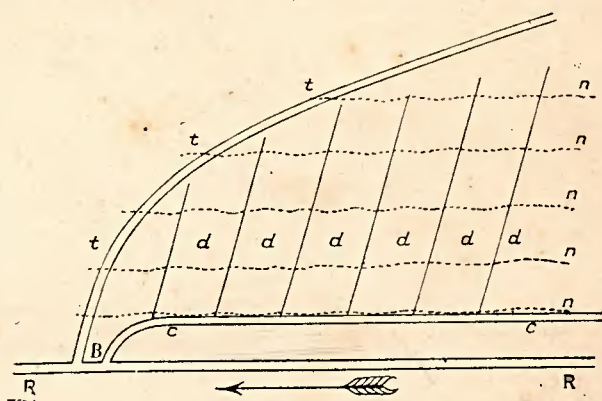


Fig. 91. — Système de drainage.

d, d, d, drains ; *cc*, collecteur ; *tt*, drain de ceinture ; *RR*, émissaire ; *B*, bouche.

L'ensemble des drains et des collecteurs qui aboutissent en un point déterminé du canal de décharge, à une bouche, forme un *système de drainage*. Lorsque la surface à drainer est assez considérable, elle peut comporter plusieurs systèmes de drainage (fig. 91), et ainsi plusieurs bouches d'évacuation des eaux.

Les systèmes peuvent être complétés par des *drains de ceinture* *tt*, qui reçoivent les eaux venant de l'extérieur et les portent directement à l'émissaire.



Historique. — Les Romains savaient assainir les terrains humides. Ils n'employaient que des fossés. Caton, Varron, Virgile ne parlent que de fossés ouverts. Columelle est le premier auteur qui conseille les tranchées souterraines remplies à moitié de petit gravier, de pierres ou de fascines. Palladius (1), venu plus tard, les préconise à son tour. Mais leurs efforts, semble-t-il, se bornaient à l'assèchement des fondrières, des marécages, des sols sourciers. Ils ne paraissent pas s'être occupés de l'assainissement des grandes surfaces, que forment dans nos contrées les sols argileux, froids ou crus, et qui ne souffrent que des eaux de pluies tombées sur elles directement. Ils ne paraissent donc pas avoir connu l'assainissement systématique qu'exigent ces grandes étendues uniformément mouillées pendant les saisons pluvieuses, l'emploi simultané des tranchées souterraines de différentes grandeurs, profondes, orientées suivant la pente du sol, qui caractérise dans ses grandes lignes le drainage moderne. C'est notre grand agronome Olivier de Serres (2) qui recommanda le premier, dès 1600, par conséquent avant Walter Bligh (3), non seulement les tranchées profondes, mais encore leur association, et de telle manière qu'il donne parfaitement l'idée, à l'emploi des tuyaux près, du drainage actuel.

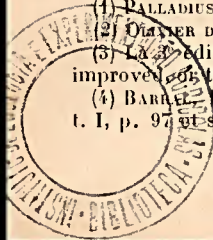
Voici comment il s'exprime (4) : « Un grand fossé sera fait depuis un bout du lieu jusques à l'autre, de long en long, commenceant tous jours par le plus bas endroit, et par où remarquerés des sources et humidités ; dans lequel fossé plusieurs autres, mais petits, pendans en plume des deux costés se joindront, pour y décharger leurs eaux, qu'ils ramasseront de toutes les parties du terroir. Par ce moyen, en contribuant chacun sa portion au grand fossé, icelui, les recueillant toutes, les rapportera assemblées à son issue. Le grand fossé à telle cause est appelé mère et tous ensemble pied de geline, pour la conformité qu'ils ont ainsi disposés à la figure du pied de cet animal. De la profondeur des fossés... pour qu'en quelque part qu'on les creuse, faut y aller jusques à quatre pieds ou environ pour bien couper les racines des sources, but de ce négoce. » Cette description pourrait presque s'appliquer à celle d'un drainage moderne. En fait, elle représenta jusque vers 1760, avec les procédés anciens d'aveuglement des sources, la technique la plus perfectionnée de l'assainissement. En 1763, un fermier anglais du Warwickshire, Elkington, fit connaître un ingénieux procédé d'extinction de l'eau surabondante à l'aide de puits profonds forés jusqu'aux couches perméables. Nous en parlerons davantage à propos de l'assainissement des terres

(1) PALLADIUS, De aqua Ductibus.

(2) OLIVIER DE SERRES, Théâtre de l'agriculture.

(3) La 3^e édition du livre de WALTER BLIGH, The english improver improved, or the Survey of Husbandry, parut en 1652.

(4) BARREAU, Drainage, second livre du Théâtre de l'agriculture, t. I, p. 97 et suiv.



qui reçoivent des eaux des terrains plus élevés qu'elles. Mais nous devons dire ici que les procédés d'Elkington firent du bruit. Le Parlement britannique vota en 1795 à Joseph Elkington une récompense de 1 000 livres sterling (25 000 francs) pour ses découvertes.

Il faut attendre jusqu'en 1810 pour trouver les véritables conduites creuses souterraines, origine des tuyaux de poterie que l'on emploie aujourd'hui. Et il semble bien que l'Angleterre puisse revendiquer l'idée de ces tuyaux. A l'Angleterre aussi appartient celle de les avoir réunis bout à bout en longues files parallèles, venant aboutir dans des tuyaux plus gros qui collationnent les eaux et les emmènent au dehors.

Après tout, cependant, Olivier de Serres ne décrivait pas une autre disposition quand il recommandait celle du *pied de gélène*.

Quoi qu'il en soit, ces deux inventions constituent le *drainage moderne*, tel qu'il est surtout pratiqué dans les terres argileuses ou dont le sous-sol est imperméable.

On eut d'abord recours à des tuiles plates et creuses, en anglais *tile*. Le *tile drainage* paraît avoir été exécuté pour la première fois à Netherby, dans le Cumberland, sur la propriété de sir James Graham. L'appareil consistait en une tuile creuse reposant sur une tuile plate (1).

Les premières tuiles furent faites à la main. Mais lorsque le drainage se répandit, vers 1840, on imagina des machines pour les fabriquer rapidement et en grande quantité.

James Smith, de Deanston, dans le Stirlingshire (Écosse), rendit de grands services à la cause du drainage. Manufacturier, il parvint, sans connaître les essais des anciens cultivateurs, à assainir une terre qui était annexée à sa filature. Son succès eut un grand retentissement dans le voisinage d'abord, puis dans toute l'Angleterre, à la suite de la brochure qu'il publia en 1832 (2) et surtout après la polémique qu'il soutint contre Josiah Parkes, ingénieur consultant de la Société royale d'agriculture. Smith préférait les pierres sèches aux tuiles et aux tuyaux. Ce n'était donc pas de ce côté qu'il fallait chercher les causes de son succès. Mais le premier il recommandait l'organisation systématique du drainage, la division et la continuité de son action. C'est ainsi qu'il lui assurait, dans les sols de la nature de ceux qui nous occupent, une énergie et une puissance inconnues jusqu'alors.

Il demandait (3) : que les drains soient fréquents ; espacés de 10 à 24 pieds anglais (3 mètres à 7^m,50) ; profonds de 30 pouces (0^m,75) au plus ; parallèles et équidistants ; que les petits drains fussent dirigés suivant la plus grande pente. Il insistait surtout sur la nécessité qu'il y avait, selon lui, à donner aux drains des directions parallèles et à les rapprocher très près les uns des autres.

En 1844 et en 1866, Josiah Parkes inséra dans le journal de la Société

(1) BARRAL, Lettres de M. Hamoir, Drainage, t. I, p. 23.

(2) SMITH, Remarks on thorough Draining, 1844, 7^e édition.

(3) HENRY et F. FRENCH, Farm Drainage,

royale d'Angleterre des travaux remarquables sur le drainage (1).

Dans ces travaux, J. Parkes réclamait aussi le parallélisme des drains, mais, contrairement à Smith, il voulait qu'ils soient placés à une profondeur d'au moins 4 pieds (1^m,20) au lieu de 2 à 3 (0^m,60-0^m,80) et qu'ils fussent espacés de 21 à 50 (6 à 15 mètres) au lieu de 10 à 24 (3 mètres à 7^m,50), la profondeur compensant l'écartement. Enfin il donnait la préférence à des tuyaux de faible calibre. Les vues de J. Parkes firent immédiatement autorité. En ce qui concerne la profondeur des drains, elles furent adoptées par la commission que la Chambre de Lords nomma en 1846, lorsque le Parlement anglais autorisa la première avance de fonds publics pour l'amélioration des terres à l'aide du drainage. Malgré tout le bruit quise faisait de l'autre côté du détroit à propos du drainage, malgré les centaines de millions que la nation anglaise y consacrait, l'agriculture française resta assez longtemps indifférente. Le mot drainage, qui vient de l'anglais *to drain*, égoutter, y était pour ainsi dire inconnu. Le premier article sur le drainage ne parut dans le *Journal d'agriculture pratique* qu'en 1846. Il était dû à M. Jules Naville (de Genève).

En 1850, Hervé-Mangon, ingénieur des ponts et chaussées, déjà connu par ses études sur les irrigations, fut chargé, par le ministère des Travaux publics, d'aller étudier la nouvelle invention en Angleterre. Il publia en 1853 ses *Instructions pratiques sur le drainage*, qui reçurent une grande publicité. Les premiers drainages suivant le système décrit par Hervé-Mangon furent faits par Gareau, membre de la Société nationale d'agriculture, sur les domaines qu'il possédait dans le département de Seine-et-Marne, et dès lors M. Chandora en exécuta un grand nombre sur les plateaux de la Brie, dont ils ont heureusement transformé les cultures.

L'Exposition universelle de Londres, en 1851, exerça une heureuse influence sur la propagation du drainage. Il se répandit rapidement en France, puis en Belgique et en Allemagne.

Barré de Saint-Venant, professeur à l'Institut agronomique de Versailles, publia, en 1849, dans les *Annales des chemins vicinaux*, un important mémoire, oublié pendant trop longtemps, dans lequel il démontra le premier qu'il convient de placer les petits drains au travers de la plus grande pente. M. Faure, inspecteur des Améliorations agricoles, professeur à l'Institut agronomique, a retrouvé ce mémoire et en a fait connaître les parties principales dans son traité de *Drainage et assainissement agricole des terres*, Paris, 1913.

On vit paraître en France un grand nombre d'articles, de brochures et livres sur le drainage. Citons entre autres, parmi les articles, celui de Nivière, directeur de l'École d'agriculture de la Saulsaie, intitulé : Comment obtenir du drainage tout son effet utile (*Journal d'agriculture pratique*, 1854), et, parmi les livres plus importants, ceux de Baral ; de Grandvoinet, professeur à l'Institut agronomique ; l'*Art de tracer*

(1) *Journal of the R. Agricult. Soc. of England*, vol. V et VII.

et d'établir les drains, et de Leclerc, ingénieur belge, qui eut grand succès ; puis, en Allemagne, celui de Vincent.

Toutes ces publications (sauf celle de Barré de Saint-Venant) recommandèrent, comme les auteurs anglais (*Stephens, Book of the Farm*), de placer les petits drains suivant la plus grande pente du sol et les collecteurs en travers.

Les expériences comparatives qu'il fit sur sa ferme de Calèves dès 1860 amenèrent M. Risler, sans connaître le travail de Barré de Saint-Venant, à placer, au contraire, les collecteurs suivant la plus grande pente et les petits drains en diagonale. Il présenta une note sur cette nouvelle méthode à la Société nationale d'agriculture dans sa séance du 26 mars 1890, et les auteurs de ce traité l'ont décrite ensuite avec plus de détails dans la *Revue générale des sciences* du 15 décembre 1893. M. Chandora avait été amené par sa longue pratique à suivre le même système, à peu près dès la même époque que M. Risler. Merl (1890) et Gerhardt (1891) le firent adopter en Allemagne à la suite de leurs intéressants travaux, et aujourd'hui il est exposé dans tous les traités importants de drainage, comme celui de M. Faure, de Kopp et ceux de Friedrich et de Gerhardt.

Après que l'attention des savants et des agriculteurs eut été vivement retenue par le drainage et que de grands travaux eurent été exécutés, elle se ralentit pendant assez longtemps. Depuis quelques années, elle s'est réveillée. En Allemagne et en Autriche, Gerhardt, Vogler, Merl, Ludecke, Friedrich, Kopetzky ; en Amérique, King, ont publié des traités et des mémoires importants. Chez nous, presque en même temps que la première édition de ce petit volume, paraissait l'excellent traité de M. Faure, inspecteur des Améliorations agricoles. Bien des questions intéressantes y sont discutées et restent encore à l'étude ; citons la profondeur et l'écartement des drains où M. Kopetzky apporte des contributions personnelles d'un grand poids ; l'examen de la perméabilité des sols, qui joue ici un rôle aussi important que dans l'irrigation, objet actuel des recherches de notre éminent maître M. Müntz et de ses collaborateurs MM. Faure et Lainé ; la détermination d'une formule qui permettra de calculer avec plus d'exactitude qu'aujourd'hui la section des collecteurs ; le rapport entre les quantités de pluies tombées dans les différentes régions de la France et les quantités d'eau infiltrées, etc. L'introduction de la méthode graphique pour le calcul des sections des collecteurs d'après leur pente et les surfaces qu'ils drainent a été un réel perfectionnement. Le service des Améliorations, qui concentre en France tout ce qui a trait au drainage, rendra de grands services aussi dans l'étude de ces problèmes. Déjà, par ses instructions pratiques, il a précisé la meilleure technique. Et, grâce à l'initiative de son distingué directeur, M. Dabat, il a donné depuis sa création une impulsion nouvelle aux travaux de drainage, négligés un peu dans les dernières années, comme aux travaux d'irrigation.

CHAPITRE V

EFFETS DU DRAINAGE.

f. — Mode d'action d'une saignée souterraine.

Supposons (fig. 92) que dans un sol humide, à une certaine profondeur, suivant une certaine pente, on ait établi deux saignées d et d' de section quelconque où l'eau puisse pénétrer pour s'écouler ensuite. Que se passera-t-il, après une pluie, dans le plan vertical et perpendiculaire à la direction des saignées, qui est, supposons-nous, le plan de la figure? Soit ce le plan de l'eau qui est en excès sur celle que peut retenir la terre grâce aux forces capillaires.

Les molécules liquides entraînées par la gravité chercheront à se rendre, par le chemin où elles rencontreront le moins de

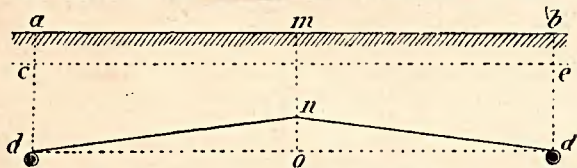


Fig. 92. — Action d'une saignée souterraine sur les eaux contenues dans le sol.

ab , coupe de la surface du sol; d, d' , section de deux lignes de drains; nd, nd' , niveau auquel l'eau tend à s'abaisser.

résistance, vers les espaces d, d' , où elles pourront pénétrer librement. Celles qui s'en trouveront le plus près y pénétreront les premières. Le mouvement de descente s'opérera plus ou moins vite, mais régulièrement, par tranches parallèles. Le niveau ce s'abaissera peu à peu, et il descendrait jusqu'à celui des saignées d, d' , si la résistance de la terre au mouvement de l'eau et la force capillaire ne s'y opposaient pas. Mais il arrivera un moment où le poids de l'eau ne sera plus assez fort pour vaincre ces deux forces; à partir de ce moment, la pénétration dans les saignées cessera. Elle cessera d'abord pour les molécules liquides les plus éloignées des saignées, celles qui sont situées vers n , parce qu'elles ont un plus grand

chemin à parcourir, par conséquent plus de frottement à vaincre. Il restera donc encore de l'eau vers n , alors qu'il n'y en aura plus en d ni en d' . Et le sol, si perméable qu'il soit, ne se desséchera pas jusqu'au niveau des saignées d et d' . Il restera toujours au-dessus de ceux-ci une région humide limitée par les lignes dn , $d'n$. La hauteur du point n dépendra de la compacité de la terre et de son pouvoir capillaire. Pour un même écartement des saignées, la pente des lignes dn , $d'n$ varie donc avec la nature des terres ; elle peut être très faible dans des sols légers perméables, très forte dans les terres argileuses.

Cette théorie a été d'ailleurs vérifiée expérimentalement en 1855 par l'ingénieur des ponts et chaussées français Delacroix.

Expériences de Delacroix. — Elles comptent certainement parmi les plus intéressantes de celles qui établissent la théorie du drainage. Dans des terrains drainés, cela se passait en Sologne, suivant un plan vertical perpendiculaire aux drains et entre deux files, Delacroix disposait cinq tubes verticaux en tôle. Ces tubes avaient 5 centimètres de diamètre ; ils dépassaient de quel-

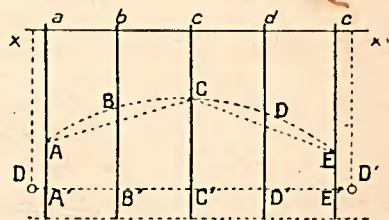


Fig. 93. — Expériences de Delacroix.

ques centimètres le niveau du sol et, en bas, le plan des drains. Fermés à leur partie inférieure, munis d'un opercule mobile en haut, ils étaient percés de trous sur les côtés, de manière à laisser entrer l'eau. Après la pluie et un certain temps écoulé, qui avait laissé le régime régulier s'établir, on mesurait, à l'aide de baguettes, le niveau de l'eau dans chaque tube. Les cotes relevées sur le papier et jointes par un trait con-

tinu fournissaient des courbes qui figuraient le niveau de la nappe liquide souterraine dans le sol.

Les figures 93 et 94 et la légende de la seconde sont assez explicites pour que leur inspection achève de faire comprendre les explications précédentes.

Delacroix appelle *charges d'eau* les hauteurs AA', BB', CC', DD', EE' (fig. 93) de l'eau dans les tubes au-dessus de la ligne

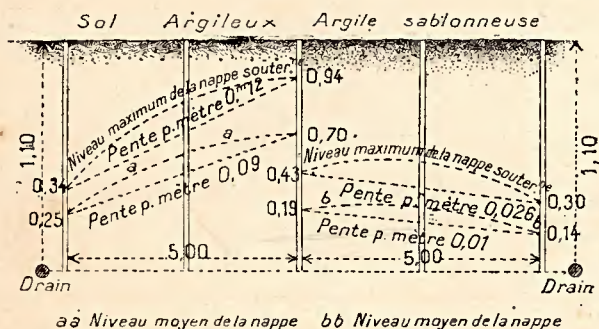


Fig. 94. — Expériences de Delacroix.

des drains ; *charges initiales*, les hauteurs AA', BB', CC', DD', EE' au-dessus et près des drains ; *pente totale*, la différence CC'—AA' ; *pente par mètre*, le rapport $\frac{CC' - AA'}{A'C'}$.

Les expériences de Delacroix répétées dans des conditions variées ont montré que :

1° La courbe ABCDE, qu'elle se rapproche d'un arc de cercle ou d'un arc de parabole, est symétrique par rapport à l'axe CC' et que l'on a toujours $\frac{CC' - AA'}{A'C'} = \frac{CC' - EE'}{C'E'}$;

2° La pente par mètre et la charge initiale, par conséquent le niveau d'équilibre de la nappe souterraine, dépendent de la nature des terres, des saisons et des années. Le débit des drains est d'autant plus fort, dans le même terrain, que la nappe d'eau est plus élevée, et réciproquement ;

3° Le niveau d'équilibre de la nappe souterraine dépend

aussi de la profondeur, de l'écartement des drains et de la nature des terrains drainés. Les autres conditions restant les mêmes, la surface limite de la nappe liquide est d'autant plus voisine de la surface du sol que celui-ci est plus argileux; d'autant plus éloignée, d'autant plus basse par conséquent, que le sol est plus sablonneux. La figure 94 le montre nettement; les chiffres suivants, fournis par Delacroix, l'établissent clairement aussi :

NATURE DU TERRAIN.	CHARGE INITIALE au-dessus des drains.		PENTE PAR MÈTRE de la nappe d'eau.	
	Moyenne.	Maxima.	Moyenne.	Maxima.
Argile compacte...	0,25	0,34	0,09	0,12
Argile siliceuse....	0,20	0,34	0,016	0,203
Silico-argileux (la silice tend à do- miner).....	0,14	0,30	0,01	0,026

Ces expériences démontrent encore que le drainage aère le sol. Lorsqu'il est imperméable et qu'il n'a pas été drainé, la couche d'eau souterraine reste immobile; elle reste parfois à quelques centimètres du sol, asphyxiant les racines des plantes cultivées. Lorsqu'il a été assaini dans de bonnes conditions, la nappe souterraine monte pendant la chute de la pluie, puis elle descend pour prendre un équilibre qui dépend de la saison, des terres et des drains. Ainsi, les eaux de pluie chargées d'oxygène traversent sans s'arrêter la terre qu'elles vivifient et qui semble pour ainsi dire respirer.

2. — Comment l'eau pénètre dans les drains et comment ils suffisent à l'enlever.

L'action des saignées qui s'opère aux points *d* et *d'* (fig. 92) se continue tout le long de leur parcours, et l'on comprend facilement qu'elle amène l'abaissement de la nappe souterraine. Remplaçons ces deux saignées perméables tout le long par deux files de drains. Que se passera-t-il? L'eau ne cherchera pas à pénétrer à travers leur surface plus ou moins percuse. Elle



pénétrera de toutes parts, dessus, latéralement, et par-dessous, entre les interstices qui les séparent, et c'est grâce à eux qu'elle pourra s'écouler. Ces interstices n'ont cependant que quelques millimètres d'épaisseur. Mais cela suffit. Un calcul très simple le montre. Admettons qu'un drainage, pour bien fonctionner, doive écouler en vingt-quatre heures l'eau d'une forte pluie. Supposons une chute d'eau de 50 millimètres d'épaisseur, ce qui correspond sous notre climat à une pluie abondante, et, pour donner plus de force à notre démonstration, supposons que les drains aient à évacuer toute l'eau tombée, alors qu'en réalité l'évaporation et les plantes en absorbent une très forte partie, cela fera, pour 1 hectare, 500 000 litres à expulser en vingt-quatre heures. Supposons encore, pour nous placer dans les conditions les plus défavorables, que les files de drains soient espacées de 20 mètres, que les drains n'aient que 40 millimètres de diamètre et ne laissent entre eux que 1 millimètre.

Chaque drain devra laisser écouler l'eau qui tombe sur une surface de $0^m33 \times 20 = 6^m^2,6$. Et il offre à l'écoulement de l'eau qui est tombée sur cette surface un orifice de $3,14 \times 40 \times 1 = 125$ millimètres carrés. Mais nous le réduirons aux deux tiers, soit à 82 millimètres carrés, pour ne tenir compte que de la partie qui est réellement utilisée. Pour que le terrain s'égoutte librement, il faudra donc que cet espace vide de 82 millimètres carrés laisse écouler par seconde le volume d'eau nécessaire afin que la quantité qui est tombée sur $6^m^2,6$ soit éliminée en vingt-quatre heures ; soit :

$$\frac{500\ 000 \times 6,6}{10\ 000 \times 24 \times 60 \times 60} = 0,003.$$
 C'est-à-dire que, dans le cas extraordinairement défavorable où nous nous sommes volontairement placés, il suffira que les intervalles qui séparent les tuyaux laissent filtrer l'eau goutte à goutte. Ils seront donc très suffisants dans tous les cas. Mais, bien entendu, à la condition que l'eau, une fois entrée dans les petits drains, puisse s'écouler librement vers les collecteurs, et de ces derniers vers l'extérieur du champ. L'intervalle étroit qui sépare deux tuyaux de drainage joue le rôle du trou placé au fond du pot de fleurs. Et un réseau de drainage représente une infinité de ces trous.



3. — Effets principaux du drainage.

1° **Le drainage aère le sol.** — Ce que nous avons dit des phénomènes chimiques qui se passent dans le sol montre l'importance capitale de cette action du drainage. On peut dire qu'un sol qui n'est pas aéré est un sol meurtrier pour les plantes. S'il l'est insuffisamment, les végétaux y vivent misérablement, et il ne peut plus donner lieu à ces phénomènes de nitrification, de dégradation des matières organiques qui jouent, nous le savons maintenant, un rôle si grand dans la vie des plantes et dans la fertilité. M. Risler a donné dès 1855 (1), dans une ingénieuse expérience, facile à reproduire, la preuve directe de la justesse de cette proposition.

J'ai mis, dit-il, une hauteur de 0^m,15 environ de terre légèrement humide dans un flacon muni à sa partie inférieure d'un robinet *e* (fig. 95), dont le tube pénètre à une petite distance dans l'intérieur de la terre et peut représenter, par conséquent, un drainage avec assez d'exactitude. L'ouverture supérieure du flacon est fermée hermétiquement au moyen d'un bouchon, à travers lequel passent, d'une part, un tube à robinet *f* qui sert à introduire l'eau, et, de l'autre, un tube qui communique avec l'intérieur d'un flacon à trois tubulures rempli en partie d'eau et arrangé de telle manière que l'air qui y rentrerait par le tube *m* serait obligé de passer à travers l'eau et de rendre ainsi son entrée visible à l'œil.

Je commence par fermer le robinet *e*, j'enlève le bouchon *l* du petit flacon, et j'introduis à travers le tube *f* assez d'eau pour représenter une forte pluie ; puis je ferme le robinet *f*, et je remets le bouchon en *l*.

Tant que le robinet *e* reste fermé, c'est-à-dire tant que le drainage ne s'opère pas, l'eau introduite occupe la position *abcd*, et ne pénètre que très lentement sous le sol, en déplaçant l'air qui s'y trouve renfermé, et le forçant à sortir par le haut en bulles qui crèvent à la surface. Dans ce cas, l'eau prend la place d'une certaine quantité d'air ; elle amène, il est vrai, l'oxygène qu'elle porte en solution ; mais elle n'en

(1) *Journal d'agriculture pratique*, 4^e série, t. IV, p. 71.



amène évidemment pas assez pour compenser celui qu'elle a fait sortir ; par conséquent, le sol renferme, après chaque pluie, moins d'oxygène qu'il n'en renfermait avant cette pluie, et c'est seulement quand l'eau ainsi introduite sera évaporée qu'il pourra rentrer de l'air.

Mais, si nous ouvrons le robinet *e*, si nous établissons le drainage, nous verrons les choses changer complètement de face. L'air renfermé dans la terre trouvant à s'échapper par en bas, ce qui devient aisément visible si l'on plonge l'extrémité du robinet dans un vase d'eau, l'eau *abcd* s'infiltre

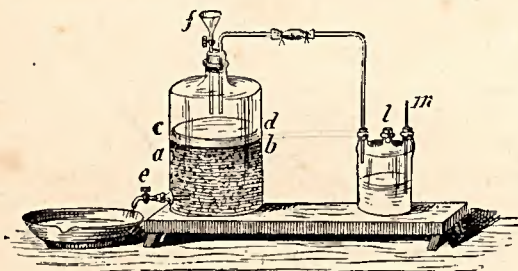


Fig. 93. — Appareil imaginé par M. Risler pour démontrer que le drainage aère le sol.

graduellement dans la terre, et, tandis que l'air corrompu est chassé d'un côté, il arrive par en haut de l'air pur que nous voyons traverser le flacon laveur par le tube *m*. Ainsi le drainage agit avant même qu'il s'écoule de l'eau par les tuyaux. Quand cet écoulement commence, l'aération cesse, pour reprendre aussitôt que l'eau aura cessé de garnir la partie supérieure du sol.

Les drains n'agissent donc pas seulement quand ils débitent de l'eau ; on peut dire que, chaque fois que tombe de la pluie, il y a aération, parce que cette pluie chasse devant elle l'air corrompu qui séjourne dans le sol. L'aération s'opère énergiquement chaque fois que l'eau s'égoutte dans les drains ; parce qu'en se retirant elle laisse des vides que l'air remplit, pour être chassé de nouveau par une pluie.

Il est d'ailleurs possible que, dans certains cas, l'air extérieur pénètre dans les drains par leurs bouches inférieures et qu'il se diffuse dans l'intérieur du sol.

On se rend facilement compte de l'aération que produit le drainage en examinant avec soin les modifications qu'il apporte à la constitution physique des terres argileuses ou compactes.

En examinant les effets de l'irrigation (p. 134), nous avons rendu compte des expériences de Köning. Il va sans dire que ce qui s'applique au drainage artificiel s'applique aussi à la pluie. Les eaux de pluies, en traversant le sol, lui apportent donc de l'oxygène. Elles oxydent les matières organiques et exercent sur les terres cette action épurante dont nous avons alors parlé.

2° Le drainage modifie la constitution physique des terres argileuses. — Pour bien nous en rendre compte,

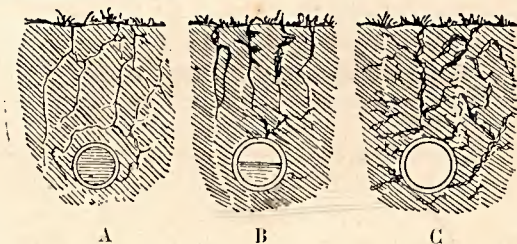


Fig. 96. — Modification de la structure du sol à la suite du drainage.

considérons trois cas : les tuyaux coulent pleins (fig. 96), ils coulent à moitié, ils ont cessé de couler. Les lettres A, B, C correspondent à chacun de ces cas. On sait que les sols argileux possèdent la propriété de se contracter en se desséchant. Le retrait qu'ils éprouvent ainsi varie avec leur composition. Il peut être évalué à 0,1 au moins du volume de la terre humide. Cette contraction produit les crevasses que l'on remarque sur les champs de terre compacte pendant les sécheresses de l'été. Mais ces crevasses ne subsistent pas longtemps lorsque le sol n'est pas drainé, et elles ne pénètrent qu'à une faible profondeur. La première pluie qui tombe les remplit en effet ;

par son séjour, elle gonfle leurs parois se referment bientôt. Il en est tout autrement dans un sol qui est drainé. Revenons à l'examen de la figure 96. Les drains étant encore pleins (A), la terre ne se dessèche que vers le haut. De petites fentes se forment simplement à la surface, fentes analogues aux crevasses que nous signalions tout à l'heure. Les drains coulant à moitié (B), le dessèchement du terrain se produit, les fentes s'allongent vers le bas, de petites crevasses se forment au-dessus du drain. Et l'eau ayant cessé tout à fait de couler, l'assèchement (C) du sol se produisant de haut en bas et de bas en haut, les fentes se rejoignent.

Les mêmes phénomènes se produisent latéralement à droite et à gauche des lignes de drains, et il en résulte que bientôt le terrain est parcouru par un réseau de fentes nombreuses qui s'étendent depuis la couche des drains jusqu'à la surface du sol, formant ainsi des milliers de petits canaux qui serviront de passage à l'eau et à l'air. Lorsqu'une pluie nouvelle tombera sur le champ drainé, ces fissures ne se fermeront pas. L'eau, en s'écoulant, les maintiendra ouvertes, et elle passera d'ailleurs trop vite pour qu'elle puisse pénétrer dans leurs parois et les gonfler.

Non seulement ces crevasses concourent efficacement à l'assainissement et à l'aération du sol, mais elles rendent son travail plus facile en divisant sa masse, qui sans elles ne formerait qu'un bloc compact.

Il est d'ailleurs évident que les fissures ne peuvent subsister dans le sol drainé, et qu'à volume égal ce sol ne peut offrir au passage de l'eau et de l'air des interstices plus grands qu'à la condition qu'une partie de l'argile et du sable fin qui remplissaient ces interstices ait disparu par suite de la *sucée* qu'y produisent les eaux de drainage. Quand les drains se mettent à couler à la suite de fortes pluies, les eaux sont souvent troubles. Ce trouble provient des particules de terre et de sable fin qu'elles portent en suspension. Elles se déposent dans les regards ou à la sortie des collecteurs, lorsque ces collecteurs ne débouchent pas immédiatement dans un ruisseau à cours rapide. Mais, si les collecteurs ont une pente plus faible que celle des petits drains, les dépôts tendent à se former



aux points de jonction et, par conséquent, à arrêter peu à peu le fonctionnement du drainage. Cela n'a pas lieu dans toutes les terres, mais on l'a constaté dans les argiles glaiseuses de la Suisse et du département de l'Ain.

Il résulte de cette analyse de l'action du drainage sur la constitution physique du sol qu'il augmente sa perméabilité, sa porosité et, par conséquent, sa *capacité pour l'air*. Nous avons dit, au commencement de ce volume, combien la *capacité des terres pour l'air* jouait un rôle important dans les relations des terres avec l'eau. Il aère le sol et le sous-sol. Simultanément il favorise la *capacité des terres pour l'eau* et les met à même de constituer des réserves d'eau pour la saison sèche.

3° Le drainage permet aux terres argileuses de résister plus facilement à la sécheresse, parce qu'il favorise l'emmagasinement de l'eau dans le sol. — Soutenir que le drainage, dont l'objet est d'extraire l'humidité surabondante, procure de l'eau au sol, c'est une prétention qui paraît inadmissible au premier abord. L'expérience et le raisonnement la justifient cependant parfaitement. On se rend compte facilement de son bien fondé lorsqu'on réfléchit qu'en permettant le passage de l'eau, qui était retenue dans les couches supérieures du terrain, le drainage permet aussi à la pluie de pénétrer dans le sol, que les milliers de fissures qu'il a provoquées sont autant de chemins tracés vers les couches profondes, que, ces fissures divisant à l'infini la terre la plus argileuse, elles multiplient son pouvoir absorbant dans des proportions considérables.

Il convient d'ailleurs de remarquer que, grâce à ces entrées successives d'eau et d'air, les colonnes d'eau qui occupent les canaux capillaires du sol sont séparées les unes des autres, dans le sens vertical, par de petites masses d'air. Elles forment ce que les physiiciens appellent des chapelets de Jamin. Ce savant a montré que, dans ces conditions, la capillarité peut s'exercer jusqu'à une très grande hauteur. Ainsi l'eau qui remplit les interstices capillaires d'une terre drainée peut s'élever très haut au-dessus du niveau de l'eau souterraine. En outre, pendant l'été, lorsque la terre est sèche, les crevasses vides, l'air extérieur y pénètre. Comme il est généralement

plus chaud que le sol, il y dépose sa vapeur d'eau, produisant ainsi une sorte de rosée intérieure.

Le drainage laisse écouler l'eau surabondante, celle qui noie les particules terreuses, qui empêche les pluies et l'air de pénétrer dans le sol : l'eau nuisible. Mais, comme nous l'avons vu, il respecte l'eau qui remplit les pores des particules et celle que contiennent leurs interstices capillaires. En un mot, il assure à la terre cette bienfaisante circulation d'air et d'eau qui remplit son sein de fécondité. Il lui permet de s'abreuver et de s'approvisionner pour la sécheresse.

4° Le drainage laisse les racines pénétrer plus profondément dans le sol. — En descendant le niveau du plan d'eau souterrain, le drainage laisse les racines, par cela même, pénétrer plus profondément dans le sol. Elles créent ainsi autant de petits canaux qui plus tard concourront à faire pénétrer l'air et l'eau dans la terre et à y retenir cette dernière. De cet effet du drainage on peut naturellement conclure à de plus belles récoltes. L'expérience le prouve.

Pouvant se nourrir dans une plus grande épaisseur de terre, elles peuvent se contenter d'une richesse relativement moins grande de cette terre en azote, acide phosphorique, etc. Ainsi, on dit que, pour pouvoir fournir de bonnes récoltes de blé, le sol doit contenir au moins 1 p. 1 000 d'acide phosphorique soluble dans les acides minéraux. Mais il est évident que 1 p. 1 000 sur une épaisseur de terre de 20 centimètres correspond à $\frac{3}{4}$ p. 1 000 sur une épaisseur de 30 centimètres ou $\frac{1}{2}$ p. 1 000 sur une épaisseur de 40 centimètres.

Grâce au drainage, la culture de la luzerne devient possible dans certaines terres à sous-sol compact, où elle ne pouvait pas réussir auparavant. Il en est de même pour l'esparcette et souvent pour les betteraves, la pomme de terre, etc.

5° Le drainage réchauffe le sol. — On s'en rendra facilement compte en se reportant à ce que nous avons exposé pages 386 à 389. Le drainage réchauffe le sol, d'abord, parce qu'il diminue la forte évaporation qui se produit à la surface d'un sol humide. Nous avons dit qu'on pouvait avancer que



chaque kilogramme de vapeur d'eau formée abaissait de 5 degrés la température de 250 kilogrammes de terre. D'un autre côté, la température de la pluie, au moment de sa chute, pendant la plus grande partie de l'année, est supérieure à la température moyenne du sol arable, soit qu'elle arrive déjà chaude à la terre, soit qu'elle se soit échauffée en traversant les couches superficielles du sol, qui reçoivent l'action directe du soleil. Ainsi, en diminuant l'évaporation à la surface et en obligeant l'eau de pluie à pénétrer profondément dans le sol, on augmente la température de celui-ci de la chaleur que l'eau de pluie a enlevée aux couches superficielles et de celle que l'évaporation lui aurait ôtée. Enfin, les rosées intérieures dont nous venons de parler apportent aussi de la chaleur. Conséquences : la végétation se réveille plus tôt dans un sol drainé ; les plantes y végètent mieux et plus rapidement, les récoltes peuvent s'y faire de meilleure heure. Avantages précieux pour tous les pays, mais particulièrement sensibles à nos cultivateurs.

6° Le drainage facilite la culture du sol. — Il est clair que l'humidité disparaissant, qui rendait la terre impraticable aux attelages et au travail de la charrue, lesensemencements peuvent se faire en beau temps, pour le plus grand bien de la germination régulière, du développement des plantes et de leur maturation. Puis le sol, une fois drainé, est beaucoup plus meuble. Et, de ce chef, on peut économiser 20 à 25 p. 100 de la force de traction qu'exigeraient les façons culturales dans une terre trop humide. Quand elles sont drainées, certaines terres fortes deviennent nos meilleures terres à blé. Mais, sans drainage, elles ne donnent que des récoltes irrégulières, bonnes dans les années sèches, très faibles au contraire dans les années humides.

Pour que les labours préparatoires et les semailles puissent s'y faire assez tôt, il faut même y conserver l'antique usage de la jachère. Il faut les cultiver en billons, ce qui rend impossible l'emploi des semoirs mécaniques, des moissonneuses et des râteliers à cheval, c'est-à-dire de toutes les machines qui permettent aujourd'hui d'économiser la main-d'œuvre.

Les gelées de l'hiver ne sont dangereuses que pour les blés



semés trop tard dans les champs trop humides ; c'est quand la terre regorge d'eau qu'elle se dilate sous l'influence du froid et déchausse ou déchire les jeunes plantes. Si ces plantes ont déjà quelques-unes des racines que l'on appelait autrefois racines printanières, mais qui doivent au contraire partir du collet dès l'automne quand les semailles ont été faites assez tôt, elles peuvent être sauvées par un roulage ou un hersage donnés à propos, surtout si on y ajoute un peu de nitrate de soude ; sinon, elles sont perdues (Risler).

7° Le drainage amène la disparition des mauvaises plantes. Dans un sol drainé, les maladies des plantes sont moins fréquentes, les gelées moins dangereuses. — La disparition de l'eau amène naturellement celle des nombreuses plantes nuisibles, que sa présence favorisait aux dépens des végétaux cultivés. Nous les avons énumérées dans un chapitre précédent.

La plupart des maladies des plantes, comme la rouille, le charbon par exemple, le mildew et tant d'autres, trouvent dans l'humidité du sol ou dans celle de l'atmosphère un élément très favorable à leur développement. Il en est de même pour certaines maladies, et non des moins graves, qui attaquent les animaux. On sait d'ailleurs combien sont malsains à l'homme même les pays marécageux ou simplement trop humides. Le drainage fait naturellement, ici aussi, sentir sa bienfaisante influence. Pratiqué sur une grande échelle, il transforme l'état sanitaire du pays. Il fait disparaître les affections si répandues dans les contrées trop humides : fièvres, rhumatismes et autres maladies.

Les céréales sont moins sujettes à la verse dans les sols drainés, parce qu'elles y trouvent des conditions plus favorables à leur enracinement et, d'une manière générale, à leur développement.

8° Le drainage n'appauvrit pas le sol. Il fournit généralement des eaux excellentes, soit pour l'alimentation des hommes et des animaux, soit pour l'irrigation. — Renvoyons le lecteur à l'une des analyses d'eau de drainage que nous avons données précédemment (p. 37 et 38).

Cette analyse montre que l'eau de drainage n'enlève guère



au sol, en quantités assez sensibles, que de la chaux, de la magnésie, du chlore, de l'acide sulfurique et de l'acide nitrique. Les autres éléments de fertilité, tels que l'acide phosphorique et la potasse, restent fixés, grâce à une propriété remarquable du sol, le pouvoir absorbant, sur laquelle nous nous sommes étendus. Des substances exportées, l'acide nitrique seul nous intéresse, les terres renfermant presque toujours assez des autres substances. On parviendra à restreindre sa déperdition, en maintenant le plus que l'on pourra d'abondantes récoltes sur le sol, elles le fixeront au fur et à mesure de leur développement ; en n'appliquant les engrais nitriques qu'au printemps, après les plus fortes pluies. Les eaux qui proviennent du drainage des terres arables sont très pures. Elles ont été filtrées par la terre. Celle-ci purifie même les eaux d'égout des villes, à tel point qu'elles deviennent potables à leur sortie des drains. La plupart du temps, elles constitueront donc de très bonnes eaux d'alimentation, pour desservir des abreuvoirs, par exemple. On pourra encore les utiliser pour irriguer les terrains placés à un niveau inférieur.

9^e Le drainage augmente la qualité et le rendement des récoltes. — Les céréales sont mieux enracinées, elles ont un grain plus lourd, des tiges plus fortes, plus droites. Leur maturité s'effectue de meilleure heure. Elles sont ainsi à l'abri de l'échaudage. Les pommes de terre donnent des tubercules bien plus savoureux. Mais nulles plantes, peut-être, ne se montrent plus reconnaissantes que les plantes fourragères. De dur, d'insipide qu'il était sur un sol mouillé, le foin devient tendre, parfumé, succulent sur un sol bien assaini.

Cette conclusion était facile à prévoir, après tous les avantages que nous venons d'énumérer. On a fait de nombreuses expériences pour établir les rendements comparatifs de sols de même nature, de même exposition, traités de la même manière, mais les uns drainés, les autres non. Barral cite dans son traité vingt-quatre expériences conduites par des cultivateurs habiles sur champs drainés et non drainés portant des céréales, des pommes de terre, des turneps et des foins. Les accroissements de rendement ont varié de 13 jusqu'à 200 p. 100.



Il est clair que le profit que l'on retire du drainage dépend essentiellement de la qualité de la terre drainée, de l'état dans lequel elle était avant l'opération et de la manière dont celle-ci a été effectuée. Mais le profit est la plupart du temps considérable, et on a bien vite regagné la dépense que cette merveilleuse amélioration a nécessitée. On cite un très grand nombre d'exploitations en France, en Angleterre et en Belgique, où le capital employé pour le drainage a été rémunéré à un taux supérieur à 20 p. 100.

Le coût du drainage moderne, tel que nous l'avons défini, peut varier entre 200 et 500 francs par hectare.

Il est quelquefois préférable de connaître le prix de revient du drainage au mètre courant. On peut l'évaluer de 0 fr. 50 à 0 fr. 70 environ.

CHAPITRE VI

THÉORIE DU DRAINAGE.

Nous allons étudier successivement :

- 1° La DIRECTION qu'il convient de donner aux drains et aux collecteurs à l'égard de la pente naturelle du sol ;
- 2° La PROFONDEUR à laquelle il convient de les placer ;
- 3° L'ÉCARTEMENT des drains ;
- 4° La LONGUEUR MAXIMA des files de drains et des collecteurs ;
- 5° La PENTE des drains et des collecteurs ;
- 6° Leur CALIBRE ;
- 7° Les ÉMISSAIRES.

I. — Direction des drains et des collecteurs à l'égard de la pente naturelle du sol (1).

Elle suit l'une des deux orientations suivantes. *Les drains sont dirigés parallèlement à la plus grande pente et les collecteurs obliquement* (fig. 97), ou *réciroquement* (fig. 98). Dans le premier cas, les drains *d* sont *perpendiculaires* et les collecteurs *C* *obliques* à la direction moyenne des courbes de niveau ;

(1) RISLER et WERY, *Revue générale des sciences*, 15 déc. 1893.



c'est le *contraire* dans le second cas. A chacune de ces orientations correspond une *méthode de drainage*.

La première constitue le DRAINAGE LONGITUDINAL, la seconde le DRAINAGE TRANSVERSAL ou OBLIQUE. Le drainage longitudinal est irrationnel; il a de graves inconvénients. *Il doit constituer l'exception et ne s'applique que lorsque la pente du sol est inférieure à 3,3 ou 4 p. 1000. Pour toutes les pentes supérieures, il faut adopter le drainage oblique.* Cependant le drainage longitudinal a été presque universellement employé

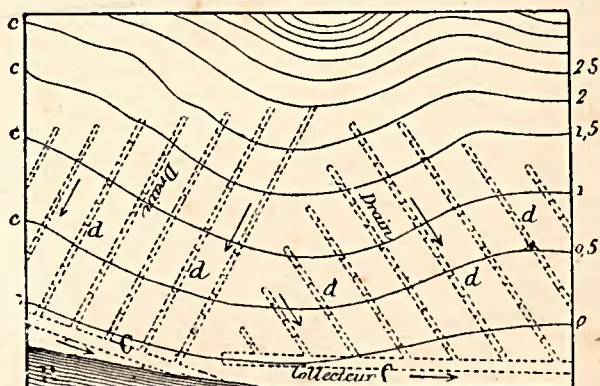


Fig. 97. — Schéma du type de *drainage longitudinal*.

c, c, c, courbes de niveau; d, d, d, petits drains; C, C, C, collecteurs; R, rivière où débouchent les collecteurs.

en France jusque vers 1900 par les praticiens. Quant à la plupart des agronomes et des écrivains agricoles, c'est le seul qu'ils ont préconisé jusque-là. Hervé-Mangon, qui, après sa mission en Angleterre, rendit un si grand service à l'agriculture nationale en propageant le drainage en France, s'exprime ainsi dans ses *Instructions pratiques* :

- *Tracé des petits drains.* — On posera donc en principe qu'il faut diriger les petits drains suivant les lignes de plus grande pente du terrain.

Grandvoinet, qui fut professeur à l'École nationale d'agriculture de Grignon, puis à l'Institut national agronomique,

et qui consacra sa vie à l'étude du génie rural, écrivit vers 1854 un traité apprécié de drainage. Dans le chapitre relatif à la direction des drains d'assèchement, on lit : *Il n'y a que deux directions possibles pour les drains d'assèchement : ils seront placés soit dans le sens de la plus grande pente, soit transversalement avec une inclinaison pouvant varier depuis 0 jusqu'à la plus grande pente du sol. Les draineurs sont actuelle-*

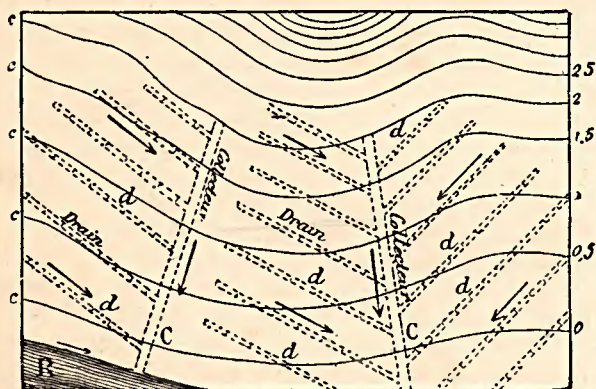


Fig. 98. — Schéma du type de drainage oblique ou transversal.

c, c, c, courbes de niveau ; d, d, d, petits drains ; C, C, C, collecteurs ; R, rivière où débouchent les collecteurs.

ment d'accord quant à la supériorité de la première position sur la seconde.

Enfin Barral, dans l'important ouvrage qu'il consacra vers 1860 au drainage et aux irrigations, se range aussi à cette opinion. Elle se retrouve, avec les mêmes arguments, dans les traités publiés à l'étranger et qui font autorité : en Angleterre, dans l'*Encyclopédie agricole* de Morton ; en Allemagne, dans les traités de Vincent et de Dunkelberg ; en Autriche, dans celui de Perels. Enfin elle a été reproduite par d'excellentes encyclopédies publiées en ces dernières années.

Cependant, dès 1849, Barré de Saint-Venant, professeur à l'Institut agronomique de Versailles, publiait, dans les

Annales des chemins vicinaux (13 août), un important mémoire qui démontre par le calcul les avantages du drainage transversal sur l'autre. Ce mémoire passa inaperçu, et il était oublié. M. Faurc, inspecteur des Améliorations agricoles, l'a retrouvé. Il lui a donné la place qu'il mérite dans son *Traité de drainage et d'assainissement agricole des terres*, qui a paru en 1903.

D'un autre côté, dès 1860, M. Risler, sans connaître le travail de Barré de Saint-Venant, à la suite d'expériences sur lesquelles nous reviendrons, s'était convaincu qu'il fallait placer les drains transversalement à la plus grande pente du terrain. Les drainages qu'il établit alors, d'après ce principe, sur sa propriété de Calèves, n'ont pas cessé de fonctionner régulièrement, sans que des obstructions de drains — l'écueil de semblables travaux — se soient jamais produites. Les drainages exécutés suivant le même système, par des draineurs formés à Calèves, se sont aussi bien comportés. Ce sont là des vérifications en grand qui témoignent en faveur de la méthode. Des travaux établis suivant l'autre système dans les terrains de même formation géologique, dans le département de l'Ain, ont donné, souvent, de mauvais résultats. Les drains ne tardèrent pas à se boucher, et cet échec, suivant des témoignages dignes de foi, contribua à discréditer le drainage chez les cultivateurs de la région. En 1890, d'importants travaux, exécutés aux environs de Montargis, d'après la méthode qu'indiquaient tous les livres, ne donnèrent que des mécomptes. C'est à la suite de cet insuccès que M. Risler fit connaître son procédé à la Société nationale d'agriculture (1). Et, le 15 décembre 1893, il fit paraître, en collaboration avec M. Wery, un article sur le *Drainage rationnel* dans la *Revue générale des sciences*. L'Exposition universelle de 1889 lui avait d'ailleurs montré que ses idées étaient partagées par M. Chandora, entrepreneur, qui a fait en France d'importants travaux de drainage. Enfin, en 1890 et 1891, des ingénieurs allemands, Merl et Gerhardt, étudièrent la théorie du procédé et en recommandèrent l'application.

(1) Note présentée par M. E. RISLER à la Société nationale d'agriculture de France, dans sa séance du 26 mars 1890.



Théorie de Barré de Saint-Venant. — Dans son *Traité de drainage*, M. Faure a reproduit les propositions de Barré de Saint-Venant. Il en a donné des démonstrations très claires. Nous ne pouvons pas reproduire ici les détails mathématiques qu'elles comportent. Nous nous bornerons à donner la relation qui les résume et ses conséquences. La théorie de Barré de Saint-Venant s'appuie sur les idées dont Delaeroix a démontré la réalité ; savoir les pentes suivant lesquelles s'établit l'équilibre de la nappe souterraine :

Soient :

H , la profondeur des tuyaux de drainage, mesurée verticalement du fond des tuyaux, au-dessous de la surface du sol ;

h , la profondeur minima à laquelle doit être maintenue la nappe d'eau au-dessous du sol, la nappe d'eau étant définie comme elle l'a été précédemment ;

h_1 , la hauteur au-dessus du drain de l'intersection de la nappe d'eau avec le plan vertical passant par le drain ; c'est-à-dire la charge initiale ;

$\text{tg } \alpha$, la plus grande pente du sol supposé plan et homogène ;

$\text{tg } \beta$, la pente que fait avec l'horizon la nappe souterraine ;

$\text{tg } \gamma$, la pente des drains supposés orientés dans une direction quelconque.

On a, si z représente la distance comprise entre les deux files de drains parallèles :

$$z = 2 (H - h - h_1) \frac{\sqrt{\text{tg}^2 \beta - \text{tg}^2 \alpha}}{\text{tg}^2 \beta - \text{tg}^2 \alpha}.$$

Cette formule est extrêmement intéressante ; non seulement elle renferme la démonstration de la supériorité du drainage transversal, mais encore elle laisse apercevoir des déductions très importantes que nous exposerons au fur et à mesure que le moment se présentera.

L'angle α que fait le sol avec le plan horizontal est toujours plus petit que l'angle β de la nappe souterraine avec l'horizon. S'il lui était égal, le drainage serait inutile, car il suffirait de creuser au bas de la pièce un fossé de profondeur suffisante pour les besoins de la culture, et l'eau se tiendrait dans le sol au niveau correspondant. La formule montre qu'alors z serait égal à ∞ . La formule précédente donne donc toujours pour z des valeurs finies.

Laissons α et β constants, mais faisons varier γ de 0 à α , ce qui revient à donner aux drains toutes les directions comprises entre l'orientation perpendiculaire à la pente du sol et l'orientation parallèle

à cette pente. La première correspond au drainage transversal, la seconde au drainage longitudinal.

On voit, à l'inspection de la formule, que l'écartement des drains δ augmentera au fur et à mesure que la pente des drains se rapprochera de celle du sol et, par conséquent, qu'il y a tout avantage à se rapprocher le plus possible de la direction transversale, puisque, l'écartement des drains augmentant, on en emploiera moins pour obtenir le même effet.

Si l'on désigne par δ_1 et δ_2 les valeurs de cet écartement dans chacune des deux méthodes de drainage, on a :

$$\frac{\delta_1}{\delta_2} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{\tan \alpha}{\tan \beta}\right)^2}}.$$

D'où ces deux conséquences : le rapport des écartements est d'autant plus grand et, par conséquent, le drainage transversal est d'autant plus avantageux que la pente du sol est plus forte.

Théorie de M. Risler. — Il est intéressant de remarquer que Barré de Saint-Venant n'attachait pas à l'orientation des drains une importance aussi grande que celle qu'on lui accorde aujourd'hui. Il dit, en effet, dans sa brochure : « Au reste, comme $j^2 (\tan^2 \alpha)$ peut, dans des limites étendues, être négligé devant $I^2 (\tan^2 \beta)$, le choix de la direction des drains est le plus souvent à peu près indifférent, dans un terrain homogène, ne recevant d'eau que par les pluies. » Par contre, M. Risler tient essentiellement à l'orientation des drains suivant une direction oblique aux courbes de niveau, non pas tant à cause de l'économie de tuyaux qu'elle réalise qu'en raison de l'énergie plus grande du drainage. Les collecteurs ayant la plus grande pente, avec un diamètre plus considérable, la vitesse de l'eau, dit-il, va constamment en s'accroissant. Il en résulte une action pneumatique, une *succion*, analogue à celle de la trompe, qui accentue les effets du drainage. Puis, la vitesse de l'eau progressant, les dépôts de sables qui amènent des obstructions ne peuvent plus guère se produire.

Voici, d'ailleurs, l'exposé de la théorie tel que nous l'avons donné dans le numéro du 15 décembre 1893 de la *Revue générale des sciences*.

C'est la pesanteur qui pousse les eaux souterraines dans les



drains ; c'est elle qui, plus tard, les entraîne dans les collecteurs, et finalement qui les rejette au dehors.

Enlever du sol les eaux nuisibles le plus rapidement et le plus complètement possible, au prix de revient minimum, telles sont, avec la durée et la régularité du fonctionnement, les qualités d'un drainage bien fait. Ces qualités sont immédiatement subordonnées à l'application des deux principes suivants :

1° Dès que les eaux ont pénétré dans le réseau des drains et des collecteurs, leur vitesse doit se maintenir ou même, si c'est possible, aller en croissant ;

2° Chaque drain doit assécher la surface maxima.

Ce second principe est évident.

Quant au premier, en l'appliquant : 1° on augmentera la rapidité de l'assèchement du sol ; 2° on évitera les obstructions. Il domine, d'après nous, la théorie du drainage ; c'est sur lui que cette amélioration du sol doit reposer. Cherchons à le démontrer.

1° On augmentera la rapidité de l'assèchement du sol. —

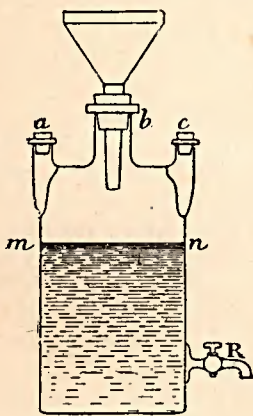
C'est ici qu'il convient de citer l'expérience que l'un de nous exécuta dès 1854 ; elle le conduisit à l'adoption du système de drainage que nous préconisons.

Soit (fig. 99) un flacon à trois tubulures *a*, *b*, *c*, semblable à ceux dont on se sert communément dans les laboratoires, mais de dimensions plus grandes et muni à sa partie inférieure d'un robinet *R*.

Remplissons-le d'eau jusqu'en *mn* et, dans la tubulure centrale *b*, fermée hermétiquement par un bouchon de caoutchouc, fixons un large entonnoir. Dans cet entonnoir, jetons de la terre, puis, sur cette terre, versons de l'eau.

Fig. 99. — Expérience de M. Risler.

Tant que le robinet *R* sera fermé, que les tubulures *a* et *c* seront ouvertes, l'eau contenue dans la terre ne filtrera que



lentement ; fermons *a* et *c*, ouvrons R. Immédiatement, le niveau de l'eau baissera dans le flacon ; par suite, il se produira un vide, une suecion vers l'entonnoir ; elle sera d'autant plus énergique que le niveau du liquide baissera plus vite. A travers les pores de la terre, l'eau passera beaucoup moins péniblement que tout à l'heure, d'autant moins que le flacon, transformé en *aspirateur*, agira avec plus d'énergie. Mais, que l'on dégage les deux tubulures latérales, la raréfaction de l'air cessera, la filtration lente se rétablira.

Assimilons maintenant à la terre de l'entonnoir un terrain détrempe ; au flacon lui-même, le système des drains et des collecteurs. Le drainage, une fois amorcé, reproduira en grand notre expérience.

Et, de même que tout à l'heure la terre de l'entonnoir s'égouttait d'autant plus vite que le niveau baissait plus rapidement dans le flacon, de même, dans le drainage, la terre s'asséchera avec d'autant plus de rapidité que la vidange du réseau se fera plus vite. Et il est clair qu'il en sera ainsi lorsque, une fois entrées dans des drains, les eaux conserveront leur vitesse initiale, et même, si c'est possible, en acquerront une plus grande ; c'est bien là ce que veut notre premier principe.

2° *On évitera les obstructions.* — Il est aisé de s'en rendre compte. L'eau qui pénètre dans les petits drains entraîne avec elle les particules terreuses qu'elle doit déplacer pour se frayer un passage à travers le sol. Puisque son volume augmente à mesure que s'étendent les lignes de drains et qu'il atteint dans les collecteurs sa grandeur maxima, la quantité des particules entraînées suit la même progression. Elle croît peu à peu avec le volume des eaux, des lignes de drains aux collecteurs.

Il se produit ainsi, dans ce réseau, un charriage de matières solides beaucoup plus considérable qu'on ne l'imagine ; que la vitesse de la masse liquide qui les emporte vienne à diminuer sensiblement ; elles se déposeront dans les tuyaux. Ce ne seront d'abord que de petits amas de quelques millimètres d'épaisseur. Si faibles qu'ils soient, ils n'en constitueront pas moins des obstacles contre lesquels viendront peu à peu se précipiter d'autres particules ; fatalement des obstructions se produiront. Si, au contraire, conformément à notre principe,



durant son trajet l'eau conserve sa vitesse ou mieux encore en acquiert une plus grande, elle entraînera les matières solides jusqu'au dehors du drainage. C'est dans les collecteurs que sa vitesse sera la plus forte, précisément là où les particules terreuses seront le plus abondantes.

Examinons maintenant jusqu'à quel point les différents systèmes de drainage satisfont aux deux principes que nous avons posés.

En ce qui concerne le premier, si les lignes de drains occupent la plus grande pente, comme l'ont conseillé les auteurs, les collecteurs sont nécessairement dirigés suivant une pente plus faible. La vitesse de l'eau diminue, par conséquent, dès qu'elle y entre. En adoptant ce système de drainage, on néglige donc complètement le premier principe. Les conséquences, nous les connaissons : le drainage fonctionne mal, sans énergie ; des dépôts de matières terreuses ne tardent pas à se former et à obstruer les tuyaux. En outre, afin que les collecteurs puissent débiter toutes les eaux qu'ils reçoivent, ils doivent leur assurer, à défaut de pente, de l'espace. On emploie donc des collecteurs de gros calibre. Ils coûtent plus cher, et le prix de revient du drainage en est augmenté.

Si, au contraire, comme le réalise cette méthode de drainage, les collecteurs ont le privilège de la plus grande pente, dès qu'elles y pénétreront, les eaux, loin de ralentir leur course, la précipiteront. En outre, grâce à leur écoulement rapide dans les collecteurs, grâce à la section relativement faible de ceux-ci, elles exerceront sur les petits drains une sorte de succion. C'est un phénomène analogue que l'on produit dans la *trompe* des laboratoires. Cette succion augmentera encore la rapidité de la vidange du réseau ; elle sera d'autant plus énergique que la pente des collecteurs sera plus forte, que leur section sera plus faible. Ce système, seul, satisfait donc rigoureusement au principe fondamental du drainage. En l'adoptant, on profitera des avantages que nous avons déjà indiqués : énergie de l'assèchement du sol, — obstructions rares ; — en outre, économie dans l'achat des collecteurs. D'ailleurs, s'il était impossible de maintenir la pente sur tout le trajet des collecteurs, on établirait des regards de place en

place ; ces regards permettraient toujours d'enlever les dépôts de limons ou de sable et de vérifier la circulation dans les tuyaux.

C'est aussi ce procédé qui satisfait le mieux au second principe : *Chaque drain doit assécher la surface maxima*. Nous allons le montrer. Cependant c'est un argument favori des divers auteurs de soutenir que ce sont les drains orientés suivant la plus grande pente qui assèchent la surface la plus considérable. Cet argument se retrouve, dans tous les traités de drainage, énoncé comme une vérité absolue. Et l'on en déduit que le drainage exécuté suivant ce système économise des drains.

En effet, dit-on, le canal placé au fond d'une tranchée, dirigé suivant la ligne de plus grande pente, se trouve symétriquement placé par rapport à la surface et fait sentir son action dans un terrain homogène, à égale distance à droite et à gauche. Il n'en est pas de même quand le tracé s'écarte de la ligne de plus grande pente ; le drainage agit entièrement du côté où le terrain s'élève, mais son action se trouve plus ou moins réduite du côté où le terrain descend ; elle peut même s'annuler presque complètement, quand le drain est perpendiculaire à la ligne de plus grande pente et que le sol présente une déclivité très prononcée.

C'est là un raisonnement spécieux, mais inexact. D'abord, la pratique s'est prononcée dans le débat. On a constaté à différentes reprises qu'en drainant suivant les deux systèmes des superficies égales situées à peu près dans les mêmes conditions, c'est l'orientation que nous préconisons qui a économisé des drains. Puis, dans ces dernières années, M. F. Merl (1) a donné des explications satisfaisantes de l'effet de la direction des drains sur l'étendue de la surface asséchée. Il a montré que, contrairement aux idées généralement admises, l'avantage est aux drains dirigés obliquement par rapport à la plus grande pente. Voici un résumé de sa théorie. Nous nous abstenons de le suivre dans les considérations mathématiques où il est entré.

(1) MERL, Neue Theorie des Boden-Entwässerung, 1890. — Cette théorie a été attaquée dans ces derniers temps en Allemagne.



Il admet (fig. 100) que, sur une ligne de drains, chacune des ouvertures O , qui sert d'échappement aux eaux, assèche un cône dont cette ouverture représente le sommet et dont l'axe est vertical. L'intersection de ce cône avec le plan du terrain détermine l'étendue de la surface assainie.

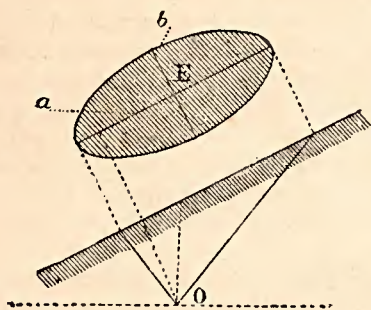


Fig. 100.

Cette intersection varie nécessairement avec la pente du terrain et celle de la nappe d'eau souterraine. La plupart du temps, c'est une

ellipse E . Cherchons quelle est la surface asséchée par une ligne de quatre drains de longueur l (fig. 101) dans l'une et l'autre méthode de drainage. Soient : S la surface de l'ellipse qui correspond à l'un des intervalles séparant deux drains ; a et b ses deux axes. Il est clair que, dans l'une ou l'autre

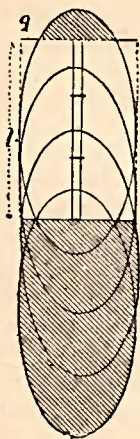


Fig. 101.

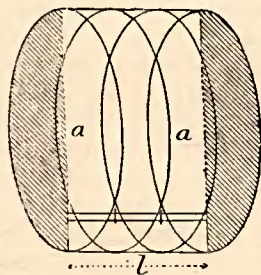


Fig. 102.

position, la surface de chaque ellipse restera la même. Mais il n'en sera pas ainsi pour la surface totale asséchée.

Celle-ci dépend, en effet, non seulement de la grandeur des ellipses, mais encore de leur orientation. L'inspection des figures le montre facilement. La figure 101 représente la surface assainie par quatre drains orientés suivant la plus grande pente, la figure 102 la surface asséchée par les mêmes drains orientés suivant la direction opposée. Dans le premier cas, cette surface est égale à $S \times bl$; dans le second, à $S \times al$. Or, a est plus grand que b ; par conséquent, ce sont les drains orientés perpendiculairement à la plus grande pente, comme



Fig. 103. — c, d, e, f , affleurements des couches imperméables; au-dessous de c et au-dessus de m , le tube incliné figure une suite de drains tracés suivant la plus grande pente du sol.

nous le demandons, qui assainissent la surface la plus considérable. De là résulte que notre procédé, qui repose sur cette orientation, réalise d'importantes économies. Grâce à lui, on ouvre moins de tranchées, on achète et on pose moins de tuyaux.

Dans les traités publiés jusqu'ici domine encore une idée à laquelle on attribue une importance exagérée. Elle est exploitée en faveur du système que nous combattons; nous devons donc l'examiner. Il y a, dit-on, dans les pièces de terre à drainer, des affleurements de couches imperméables c, d, e, f (fig. 103), qui alternent avec des couches perméables; les drains tracés, comme le montre la figure, suivant la plus grande pente, seraient destinés à couper plus sûrement les eaux qui surgissent à la surface de ces couches imperméables. Mais les drains en dia-

gonale les couperont aussi bien, et, du reste, il arrive plus souvent que l'on ait à drainer des terrains formés de masses compactes d'argile, comme : sur les plateaux de la Brie, les argiles à meulière ; sur ceux de la Normandie et de la Picardie, les argiles à silex ; dans beaucoup de pays, les argiles glaciaires.

Le système que nous préconisons satisfait donc de tous points aux deux principes qui, nous l'avons reconnu, constituent la base du drainage rationnel.

Résumons ses avantages :

1° La vidange du réseau des drains et des collecteurs s'opère le plus rapidement possible ; par conséquent, le drainage est plus énergique ;

2° Les obstructions de tuyaux sont rares ;

3° Les collecteurs qui occupent la plus grande pente, avec un diamètre relativement faible, satisfont à l'écoulement d'une masse d'eau plus considérable ; les petits drains peuvent être plus largement espacés. De ce chef résulte une économie dans l'ouverture des tranchées, la pose et l'achat des tuyaux ;

4° Les effets généraux du drainage sont plus accentués : assèchement, aération, ameublissement du sol, etc.

L'économie immédiate qui résulte de l'emploi de cette méthode de drainage est évaluée à 10 p. 100.

Nous est-il permis d'ajouter que ce mode d'opérer répond le mieux aux conditions naturelles des choses ? Établissons à ce sujet une comparaison ; si hardie qu'elle soit, elle n'en traduit que mieux notre pensée. Il y a dans l'organisme un appareil qui peut être comparé à un système de drainage. C'est celui des capillaires et des veines. Il draine dans toutes les parties du corps le sang pour l'amener aux poumons, qui le revivifient. Les capillaires représentent nos petits drains ; les grosses veines, les collecteurs. Les physiologistes ont constaté que la vitesse du sang dans les capillaires est bien plus faible que dans les veines. Et ils ont expliqué ce phénomène en faisant observer que la surface formée par toutes les sections des capillaires est beaucoup plus considérable que celle qui est représentée par les sections des veines principales.



Pour la même quantité de liquide à écouler dans le même temps, les vitesses varient en raison inverse des sections. C'est une loi de l'hydrodynamique à laquelle n'échappe pas le monde vivant. Appliquons-la au drainage, qui n'est qu'une découverte précieuse du génie de l'homme, et contentons-nous, avec Bacon, de copier la Nature.

La quantité d'eau qui entre dans le réseau des petits drains, pendant un temps déterminé, doit être évacuée, pendant le même temps, par la bouche du collecteur principal. Et, comme la section du système des petits drains est toujours plus considérable que celle du système des collecteurs, c'est dans celui-ci que la vitesse doit être maxima. A cette condition, le régime sera normal. Nous y satisferons, de la manière la plus sûre et la plus économique, en donnant aux collecteurs la plus grande pente, puisque la pesanteur est l'agent de circulation dont nous disposons.

Le mode de drainage que nous préconisons a provoqué à l'étranger d'intéressantes études. Elles datent d'ailleurs de ces dernières années et sont dues principalement à Merl et Gerhardt. Et, aujourd'hui, la plupart des ingénieurs-draineurs le préconisent. En France, il est recommandé par M. Faure dans le traité de *Drainage* (1903) que nous avons cité plusieurs fois et par le service des Améliorations agricoles. On l'appelle *drainage oblique* ou *transversal* par opposition à l'ancien mode qui reçoit le nom de *drainage en long* ou *longitudinal*.

Le drainage oblique a cet inconvénient qu'il faut niveler le fond des tranchées avec d'autant plus de soin que la pente du sol est plus faible. Cette nécessité peut réduire l'économie qui est réalisée sur les tuyaux. On admet généralement qu'on ne peut l'employer lorsque la pente du sol est inférieure à $\frac{1}{250}$ ou $\frac{1}{300}$, c'est-à-dire à 4 ou 3,3 p. 1 000. Le drainage longitudinal doit alors lui être préféré, quitte à donner aux collecteurs des diamètres plus grands pour compenser les diminutions de pente.

M. Risler estimait que les collecteurs, quand ils n'ont pas un trop fort diamètre, exercent sur les drains une succion à la



façon d'une trompe. Ils feraient le vide au-dessus d'eux et exerceraient une force mécanique qui se transmettrait dans tous les tuyaux, entraînant les matières qui tendraient à y former des dépôts. Il vaut donc mieux, disait-il, ne pas augmenter le diamètre des collecteurs, quitte à leur donner, artificiellement, une pente plus grande qu'aux drains suceurs, en laissant à ceux-ci, quand il le faut absolument, la pente naturelle du sol, c'est-à-dire en les plaçant perpendiculairement aux courbes de niveau.

2. — Profondeur des drains et des collecteurs.

Le service des Améliorations agricoles (1) appelle *normale* la profondeur à laquelle il faut placer les drains pour obtenir l'assainissement dans les meilleures conditions possibles.

Cette profondeur est de 1^m,25 pour les terres arables, de 1 mètre pour les prairies, de 1^m,50 et même 2 mètres pour les sols tourbeux. Ces chiffres ne sont pas absolus. L'agronome habile doit les modifier suivant les circonstances.

Quand il s'agit d'un terrain perméable dont le sous-sol imperméable n'est pas situé trop bas, il vaut mieux faire reposer les drains dessus. Enfin il arrive que ce soit le niveau de l'eau dans l'émissaire qui règle la profondeur à laquelle il faut placer les drains, au moins dans son voisinage. On verra, en effet, que le collecteur principal doit déboucher à 20 centimètres au moins au-dessus du plafond et au-dessus du niveau des eaux moyennes d'été. Cette nécessité, en terrain plat, oblige parfois à rapprocher les drains de la surface du sol. Alors on multiplie leur effet soit en les rapprochant l'un de l'autre (fig. 104), soit en interposant des files auxiliaires vers l'extrémité (fig. 105).

En examinant l'effet qu'une saignée souterraine ou qu'un drain exerce sur les eaux contenues dans le sol, nous avons vu que les eaux s'écoulaient suivant une ligne AC, qui partait

(1) Instructions pratiques (*Annales de la Direction de l'Hydraulique agricole*, fasc. XXX, 1904).



de la saignée ou de la file des drains, pour aboutir vers la surface du terrain, en C par exemple (fig. 93, p. 405). C'est la pesanteur, plus ou moins contrariée par la résistance du terrain, qui détermine la chute de chaque molécule d'eau vers l'espace vide que lui offre le drain. La pente de la ligne AC, pour le même sol, est indépendante de la profondeur du drain, si l'on

suppose que la nature et la capillarité du sol restent les mêmes sur toute la hauteur

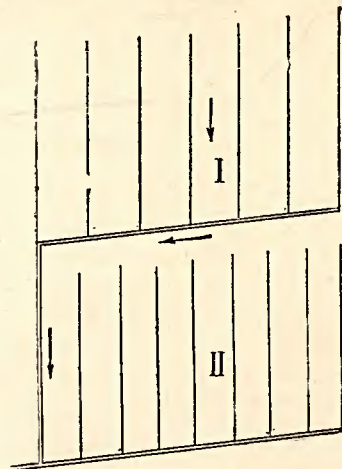


Fig. 104. — Drainage avec drains rapprochés.

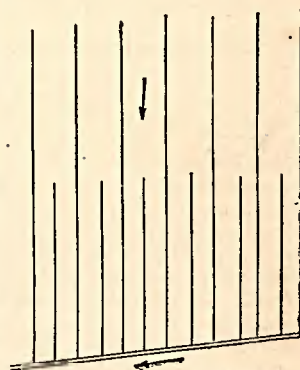


Fig. 105. — Drainage avec intercalation de petits drains.

intéressée. Il en résulte, comme le montre la figure, que plus le drain sera profond, plus grand sera le volume de terre asséchée, et en même temps plus accentués seront les effets du drainage. On a d'ailleurs constaté, après une pluie, que des drains, placés profondément, donnaient une quantité d'eau plus considérable que d'autres qui étaient disposés moins bas, toujours à la condition que la profondeur des drains reste dans des limites convenables.

Et même, comme on peut facilement le voir, *l'écartement des drains peut augmenter généralement dans une proportion plus forte que leur profondeur, au moins dans une certaine limite, le sol restant homogène et sa perméabilité constante. Supposons, en effet, que le drainage*



maintienne les eaux à 0^m,50 au-dessous du sol et que la pente supposée constante des nappes d'eau, c'est-à-dire des lignes AC, CE (fig. 93), soit de 0,1. Chaque drain assainira de chaque côté une bande de terrain d'une largeur égale à dix fois l'excès de sa profondeur, sur 0^m,50, en sorte que l'espacement des files atteindra vingt fois cet excès.

Profondeur des drains.	Excès de la profondeur sur 0 ^m ,50.	Écartement des drains.
0 ^m ,76	0 ^m ,25	5 mètres.
1 ^m ,00	0 ^m ,50	10 —
1 ^m ,50	1 ^m ,00	20 —

Et l'on voit que la profondeur passant de 0^m,75 à 1^m,50, c'est-à-dire doublant, l'espacement des drains passe de 5 mètres à 20 mètres c'est-à-dire quadruple.

D'ailleurs la formule de Barré de Saint-Venant montre que l'écartement des drains croît comme l'excès de H , leur profondeur, sur la quantité constante $h + h_1$, c'est-à-dire beaucoup plus rapidement que H (1).

Mais ces raisonnements supposent que le terrain reste homogène et sa perméabilité constante. Au delà d'une certaine profondeur, variable avec la nature du sol, ces conditions ne sont plus remplies, et l'on peut prévoir qu'à partir d'une certaine limite les drains ne fonctionneront plus. L'expérience a d'ailleurs montré que l'on a dû suppléer à des drains placés trop bas par d'autres situés au-dessus.

La détermination de la profondeur *optima* dépend de la constitution physique des terres. Elle laisse place encore à bien des recherches.

Barré de Saint-Venant fait encore remarquer — et l'expérience l'a confirmé — que, pour une même profondeur *minima* du drainage, les files profondes assainissent une profondeur moyenne de terrain beaucoup plus grande et donnent l'écoulement à une quantité d'eau plus considérable, après une pluie, que les files peu profondes. Mais toujours à la condition que la profondeur reste dans des limites convenables.

En résumé, des drains situés à une profondeur suffisante, 0^m,90, 1 mètre à 1^m,25 environ, suivant la compacité et la culture du sol, procurent les avantages suivants :

- 1° Ils exercent leur effet plus loin, par conséquent, mais, entre certaines limites, ils peuvent être davantage espacés ;
- 2° Ils sont moins exposés à la pénétration des racines des plantes cultivées ;
- 3° Ils ne sont pas exposés à la gelée ;
- 4° Ils aèrent le sol à une profondeur plus considérable. Les

(1) Voy. FAURE, Drainage et assainissement agricole des terres, 1903.

effets physiques et chimiques que le drainage exerce sur le sol se font donc sentir à une profondeur plus grande.

Quant aux *collecteurs*, ils s'établissent à quelques centimètres, 4 ou 5, au-dessous des drains, de manière que l'eau y arrive par une petite chute. Cette disposition favorise la vidange du drain et s'oppose aux obstructions.

La profondeur à laquelle il convient de placer les drains fait, du reste, depuis longtemps, l'objet des discussions des ingénieurs, et on ne peut pas dire que la question soit encore épuisée. En Angleterre, Parkes, après de longues polémiques, soutenues de 1845 à 1846, finit par imposer la profondeur de 4 pieds anglais ($1^m,20$) au lieu des 2 ou 3 ($0^m,60$ à $0^m,90$) que réclamaient ses émules. Mais aujourd'hui les idées paraissent bien changées sous ce rapport de l'autre côté de la Manche.

Dans un livre qu'il vient de publier sur le *sol arable* (1), M. Hall, le distingué successeur du Dr Gilbert à la direction du célèbre laboratoire de Rothamsted, s'exprime ainsi : « On a drainé en Angleterre, de 1830 à 1870, environ 3 millions d'acres de terres fortes. Mais une grande partie de ces drainages n'ont pas bien réussi parce qu'on a placé les drains à une trop grande profondeur, c'est-à-dire à 4 pieds ($1^m,22$) au lieu de 2 à 3 pieds ($0^m,61$ à $0^m,915$), profondeur considérée aujourd'hui comme la plus convenable » ; et, pour confirmer son dire, M. Hall a bien voulu nous communiquer une lettre de M. Bailey-Denton fils, l'ingénieur de l'Angleterre le plus expert en drainage. « Aujourd'hui, dit M. Bailey-Denton, personne ne songerait plus à drainer à une profondeur de plus de 3 pieds ($0^m,90$) ».

M. de Ville-Chabrolle, dans le mémoire dont nous avons déjà parlé, cite les chiffres donnés par Dempsey dans son traité d'assainissement. D'après cet auteur, les drains placés à $0^m,91$, $0^m,76$ et même à $0^m,60$ de profondeur, en terrain argileux, espacés de $5^m,50$ à $7^m,32$, auraient donné de meilleurs résultats que les drains profonds de $1^m,22$ à $1^m,52$ espacés de 10 à 11 mètres. Les chiffres fournis par le « General Board of Health » établissent une échelle où la profondeur des drains passe par degrés de $0^m,76$ à $1^m,37$, avec des espacements de $4^m,50$ à 20 mètres au fur et à mesure que les terrains deviennent plus légers.

En Allemagne et en France, on admet comme profondeur normale pour les terres arables $1^m,25$, pour les terres de prairies 1 mètre. En Autriche et dans les riches plaines de la Bohême, on descend jusqu'à $1^m,50$ et même $1^m,70$. Quelques ingénieurs d'une manière générale, et en deçà d'une certaine limite, auraient plutôt tendance à augmenter la profondeur avec le degré de compacité des terres et à diminuer les écartements. En Angleterre, au contraire, on augmenterait la profon-

(1) HALL, *Le sol en agriculture*, édition française par M. DEMOLON, Paris, 1905, J.-B. Baillière et fils.

deur et l'écartement des drains au fur et à mesure que les sols deviendraient plus sablonneux.

Les divergences que l'on constate dans les chiffres adoptés pour différentes contrées doivent se rapporter à des causes qui ne tiennent pas toutes à l'intensité du drainage provoquée par une plus ou moins grande profondeur des drains. Il faut descendre assez bas les drains, non seulement pour abaisser le plan d'eau, mais aussi pour mettre les tuyaux à l'abri des racines des plantes. Or, dans les sols très fertiles, les racines pénètrent plus profondément, et d'ailleurs on cultive des plantes, comme la betterave, qui pivotent davantage. Ce peut être là une, des raisons qui, dans certains terrains et pour certaines cultures, militent en faveur des drainages profonds.

On se rend facilement compte de l'intérêt qu'il peut y avoir à drainer à une faible profondeur des sols très argileux, qui se laissent très difficilement pénétrer par l'eau et qui ne sont exposés qu'à celle que leur apportent les pluies. Alors, il est clair que l'on aura tout avantage, quitte à les rapprocher, à placer les drains le plus près possible du sol, sans quoi leur fonctionnement pourrait être défectueux et même, à partir d'une certaine profondeur, impossible.

Les tranchées de drainage sont d'autant plus coûteuses à creuser qu'elles sont plus profondes. Mais la dépense peut être contre-balancée, en partie au moins, et le drainage profond permet d'écarter les files de drains. C'est ce que l'on admet généralement, quoiqu'il y ait des limites en deçà desquelles il faut se tenir, comme nous l'avons dit tout à l'heure.

Les idées adoptées quant à la profondeur des drains, en France et en Allemagne, sont justifiées par les expériences de Delacroix. Leurs résultats (Voy. p. 407) établissent clairement qu'à égalité de profondeur des drains la nappe souterraine descend plus bas dans un sol sablonneux que dans un sol argileux. Or, cet abaissement du niveau moyen de la nappe souterraine est l'un des principaux buts que poursuit le drainage. Nous avons vu qu'il est nécessaire que cette nappe soit abaissée jusqu'à un niveau qui varie suivant les cultures et aussi certainement, quoique nous manquions de précisions à cet égard, suivant les qualités physiques du sol.

3. — Écartement des drains.

Le *Service des Améliorations agricoles* recommande de placer les drains aux distances indiquées ci-contre (p. 437).

On suppose la profondeur normale (1 mètre à 1^m,25) et le cas d'une pente inférieure à 4 p. 100.

Lorsque la pente du sol est supérieure à 4 p. 100, augmenter les nombres de 20 p. 100.



Terrains argileux les plus compacts.....	10 à 20 mètres.
Terres grasses compactes.....	12 à 14 —
Terres grasses ordinaires contenant des pierres	14 à 16 —
Terres grasses sablonneuses.....	16 à 20 —
Terres sablonneuses contenant un peu d'argile.....	20 à 25 —
Terres sablonneuses ordinaires.....	25 à 30 —

Dans les sables mouvants, la distance des drains entre eux doit être faible ; elle sera déterminée dans chaque cas par l'expérience.

Dans les terrains non homogènes, et toujours pour la même profondeur des drains, l'écartement des drains dépend du nombre, de la disposition et de la puissance des veines perméables. Il ne peut être fixé que par l'observation, après le creusement de quelques tranchées d'essai.

L'écartement des files de drains a une très grande importance. Est-il trop fort, les files de drains laissent entre elles un espace qui est insuffisamment drainé. Est-il trop petit, le nombre de drains que l'on a employés est trop grand. Et comme ce sont les drains et leur mise en place qui coûtent le plus cher, on peut ainsi augmenter considérablement, sans aucune utilité, le prix de revient du drainage.

L'écartement des drains dépend, en sol homogène :

1° De leur profondeur, jusqu'à une certaine limite (Voy. p. 434) ;

2° De la nature du sol, plus ou moins argileux, plus ou moins léger ;

3° De la pente du sol ;

4° De l'orientation des drains ;

5° De la nature des cultures.

Au delà d'une certaine limite, plus un sol est argileux, moins profonds sont les drains, plus ils doivent être rapprochés.

Plus un sol est léger, plus profonds sont les drains, plus ils peuvent être éloignés.

Ces règles, qui guident pour déterminer l'écartement des drains, mais qui ne sont pas absolues, résultent de ce que nous avons précédemment exposé, et en particulier des expériences de Delacroix. En sol léger, les résistances étant



moindres, l'eau, pour atteindre une même profondeur, se contente d'une pente plus faible ; par conséquent, les files de drains peuvent être plus éloignées les unes des autres.

La direction des drains a aussi son influence, ainsi que la pente du sol.

En effet, dans le drainage oblique, chaque drain assèche une plus grande surface que dans le drainage en long, et il suffit de se reporter à notre démonstration pour comprendre que, plus la pente du terrain sera forte, plus grande sera la sur-

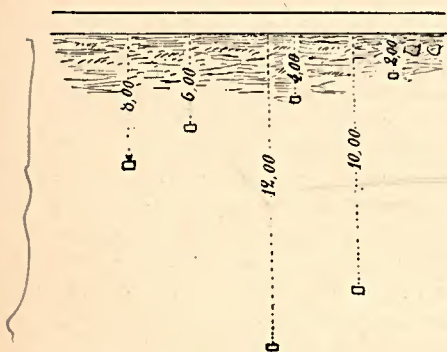


Fig. 106. — Trous d'essais disposés dans le sol pour apprécier l'écartement qu'il convient de donner aux drains.

face de l'ellipse qui représente la surface du sol qui est asséchée. Aussi, le drainage oblique permet-il un espacement plus grand des drains, et d'autant plus grand que la pente du sol est plus forte. Gerhard fait remarquer, avec raison, que cette règle ne peut s'appliquer lorsque la pente du sol dépasse une certaine limite. Alors, en effet, les eaux tendent à surgir à la surface ; le drainage naturel cesse ou est gêné.

Ce cas peut se produire lorsque la différence de niveau entre deux drains consécutifs ne dépasse pas 0^m,50. On peut, en pente raide, rapprocher les drains jusqu'à 15 mètres, mais on ne doit jamais les espacer de moins de 10 mètres.

En pratique, on applique les chiffres que nous avons donnés plus haut. On ne peut se livrer à des expériences qui sont toujours assez longues. Elles sont nécessaires lorsque l'on établit un drainage dans des conditions toutes nouvelles. Elles s'exécuteront à une profondeur de 1^m,50 et sur une superficie d'au moins 5 hectares d'un seul tenant. Voici un moyen d'étude pratique sur le terrain recommandé par Hervé-Mangon.



On établit (fig. 106), soit à gauche, soit à droite d'une tranchée, dont la profondeur atteint celle des drains, des trous disposés en échiquier. De 0^m,50 de côté, ces trous ont la même profondeur que la tranchée et en sont distants de 2, 4, 6, 14 mètres. Leur distance les uns des autres doit avoisiner 10 à 12 mètres, afin que leur action reste indépendante. Afin d'empêcher l'évaporation, on recouvre trous et tranchée de paille ou de menues branches. Après qu'il a plu suffisamment pour saturer d'eau le terrain, on note chaque jour, matin et soir, le niveau de l'eau dans les trous. On constate que l'eau souterraine les remplit d'autant plus haut qu'ils sont plus éloignés de la tranchée, jusqu'à la distance où, la tranchée ne faisant plus sentir son action, le niveau de l'eau est le même dans deux trous voisins. Lorsque le niveau paraît stationnaire dans deux trous consécutifs ou qu'il varie de la même quantité d'une observation à l'autre, on note la distance à la tranchée de celui des deux qui en est le plus rapproché. Cette distance peut passer pour égale, à peu près, à la moitié de l'écartement qu'il convient de donner aux drains. L'expérience doit être répétée plusieurs fois pendant l'année qui précède l'exécution des travaux.

L'écartement des drains a, comme leur profondeur, une très forte influence sur le degré d'action du drainage et sur son prix de revient. Et sa détermination, comme celle de la profondeur, reste encore l'une des questions les plus difficiles à résoudre exactement. Les expériences sont longues, et l'on aimerait arriver à tracer des échelles exactes où le degré d'écartement et la profondeur seraient inscrits à côté de la constitution physique intime du sol. On s'en est beaucoup occupé en Allemagne et en Autriche. Wäge, Gerhardt ont dressé des tableaux où se trouvent inscrits l'espacement des drains pour les différents sols caractérisés par les quantités pour 100 de particules argileuses qu'ils contiennent, quantités déterminées par l'analyse physique. L'ingénieur Sikorsky a imaginé un petit appareil qui permet de faire sur le terrain même une analyse mécanique suffisante.

M. Kopetzky, directeur du Laboratoire de Prague, a dressé, avec des soins tout particuliers, une table d'écartement des drains pour les sols de la Bohême et une profondeur des tuyaux de 1^m,25. Nous l'empruntons au travail déjà cité de M. de Ville-Chabrolle. Elle comporte une colonne pour les taux de particules argileuses et une autre pour ceux des particules très fines de diamètre inférieur à 0^m,01 fournis par l'analyse mécanique. La première d'entre elles offre le plus de sécurité.



C'est avec l'appareil de lévigation décrit page 56 qu'ont été effectuées les analyses mécaniques des terres.

Profondeur supposée des drains : 1^m,30.

Nature du sous-sol.	Taux des particules argileuses. (Diam. < 0 ^{mm} ,02.)	Taux des particules très fines. (Diam. < 0 ^{mm} ,01.)	Écartements des drains.	
	P. 100.	P. 100.		
Argile compacte...	Plus de 55	Plus de 70	8 à 9 mètres.	
Terre argileuse lè- gèrem. sableuse.	55 à 40	70 à 55	9 à 10	—
Terre argilo-sili- ceuse.	40 à 25	55 à 40	10 à 12	—
Terre franchelègèr. argileuse.....	25 à 15	40 à 30	12 à 14	—
Terre franchelègèr. sableuse.....	15 à 7	30 à 20	14 à 16	—
Terre franche légèr. sableuse.....	7 à 2	20 à 10	16 à 18	—
Terre sablonneuse faible m. humifère.	Moins de 2.	Moins de 10.	18 à 20	—

Remarquons que les particules argileuses de diamètre inférieur à 0^{mm},002 correspondent précisément à celles que M. Schlœsing, dans son procédé d'analyse mécanique des terres, considère comme formant l'argile proprement dite et que c'est leur taux qui fournit les résultats les meilleurs.

Cette table est construite en vue des cas les moins favorables.

C'est ainsi que, lorsqu'il existe du fer ou de l'humus dans le sous-sol, on maintient les écartements indiqués dans l'échelle précédente ; par contre, on les augmente notablement quand les terrains renferment 8 à 10 p. 100 de calcaire ou davantage.

En particulier, dans les marnes argileuses très riches de cet élément on adopte pour les drains un écartement d'au moins 10 mètres, même si le taux de particules très fines fourni par l'analyse mécanique est supérieur à 70 p. 100.

Ajoutons qu'en ce qui concerne l'influence de la pente sur l'écartement des drains, d'après M. Kopetzky, elle n'est pas la même en tous terrains et dépend avant tout de la nature du sol. Quand il s'agit de terres argileuses très fortes, la pente ne joue aucun rôle important sur l'écartement des drains : celui-ci ne peut guère être augmenté que de 1 mètre dans les cas les plus favorables. Mais l'influence devient d'autant plus considérable que la terre est plus légère, si bien que l'augmentation d'écartement peut comporter 2 mètres dans les terres franches ordinaires et jusqu'à 3 et 4 mètres en terres franches sablonneuses.

La table ne distingue pas, contrairement à celle de Gerhardt, entre le drainage oblique et le drainage longitudinal. Elle s'applique à la

profondeur de 1^m,30 et aux terres profondes et très homogènes de la Bohême. Mais elle paraît fournir un bon modèle pour les tables analogues que l'on voudrait établir dans d'autres pays et dans d'autres conditions.

Nous croyons que pendant longtemps encore l'expérience sera le meilleur guide à suivre pour régler l'écartement des drains.

4. — Vitesse de l'eau dans les tuyaux. Pente minima et maxima.

Vincent, l'ingénieur bien connu par les travaux de drainage et d'irrigation qu'il a exécutés en Allemagne, se servait de la formule suivante pour calculer le débit des tuyaux de drainage.

Soient :

h , la pente du tuyau de drainage pour une longueur l exprimée en mètres ($\frac{h}{l}$ est donc la pente par mètre) ;

d , le diamètre du tuyau ;

v , la vitesse moyenne de l'eau par seconde.

$$(1) \quad v = 3,59 \frac{a}{b} \sqrt{\frac{50 dh}{l + 50 d}}.$$

C'est la formule proposée par Prony et Eytelwein pour les tuyaux de conduite, corrigée par le coefficient a introduit par Vincent et qui varie comme il suit avec les diamètres d .

	cm.	cm.	cm.	cm.	cm.	cm.	cm.	cm.	cm.
$d =$	4,00	5,00	6,50	8,00	10,00	13,00	16,00	18,00	21,00
$\frac{a}{b} =$	0,71	0,75	0,78	0,80	0,83	0,86	0,88	0,90	0,92

La formule de Prony et d'Eytelwein s'applique à des conduites relativement courtes, où l'eau circule sous pression, puisqu'elles desservent un réservoir. Or, les tuyaux de drainage, surtout en ce qui concerne la longueur, ne sont pas placés dans les mêmes conditions. Aussi, plusieurs ingénieurs estiment-ils que la formule de Vincent ne donne pas des résultats exacts, qu'elle fournit pour la vitesse des valeurs trop élevées. Friedrich propose d'adopter celle de Gieseler :

(2)

$$v = 50 \sqrt{\frac{dh}{l}}.$$

M. Spöttle (Voy. *Contribution à l'étude du drainage des terres*, par MM. Faure, inspecteur, et Rolley, ingénieur des Améliorations agricoles, in *Annales de l'Institut national agronomique*, 2^e série, tome IX, fasc. 1^{er}) a proposé d'adopter la formule de Ganguillet et Kutter simplifiée :

$$v = \frac{100 \sqrt{r}}{m + \sqrt{r}} \sqrt{r\varphi},$$

où

v est la vitesse moyenne de l'eau ;

r , le rayon moyen ;

φ , la pente pour 100 ;

m , coefficient de frottement, est égal à 27 et correspond à un canal pavé ou maçonné avec joints au ciment.

Les calculs effectués montrent que cette formule, jusqu'au diamètre de 0^m,10, donne un débit supérieur de $\frac{1}{3}$ environ à celui que donne la formule de Vincent. Jusqu'au diamètre de 0^m,10 on pourrait donc employer avec plus de sécurité les tables (p. 449 et 450) construites pour un écoulement de 0^m,80, au lieu de celles qui ont été construites pour un écoulement de 0^m,65.

Toutefois la formule de Vincent reste généralement en usage. Et nous en recommandons l'emploi, jusqu'à ce que l'on ait trouvé mieux. Il est d'ailleurs préférable de se tenir au-dessus des dimensions strictement nécessaires.

Ces deux formules montrent que de la vitesse de l'eau dans les tuyaux et du diamètre de ceux-ci dépend leur pente sur une longueur déterminée, 100 mètres par exemple.

Or, quelle doit être cette vitesse ? Il faut qu'elle soit assez forte pour entraîner les limons et le sable fin qui obstrueraient les tuyaux, surtout les drains qui n'ont qu'un diamètre de 0^m,05 au plus, mais qu'elle ne franchisse pas la limite passée laquelle l'eau ravinerait le sol entre les interstices. On admet qu'elle doit être de 0^m,20 au minimum, de 1 mètre au maximum.

La formule (1), où le coefficient $\frac{a}{b}$ recevra les valeurs qui correspondent aux différents diamètres, nous fera connaître les minima et les maxima des pentes admissibles pour les tuyaux des divers calibres. Elle donne, en effet, pour $l=100$:

$$(3) \quad h = \frac{v^2 (100 + 50 d)}{644,5 \left(\frac{a}{b}\right)^2 d}$$

On trouve ainsi que, pour les drains de 0^m,05, section minima pour les drains du dernier ordre, qu'il convient d'employer, le minimum de la pente peut être environ de 2,5 p. 1 000 et le maximum 80 p. 1 000.

Pour les collecteurs de diamètre compris entre 0^m,06 et 0^m,08, la pente minima doit être de 2 p. 1 000, la pente maxima de 40 p. 1 000.

Pour les collecteurs dont le diamètre varie de 0^m,08 à 0^m,13, ces pentes peuvent avoir pour limites respectives 1 p. 1 000 et 30 p. 1 000.

Et pour les gros collecteurs de 0^m,16, ces limites descendent à 0,5 p. 1 000 et 13 p. 1 000.

5. — Calibres des drains et des collecteurs.

La détermination des diamètres qu'il convient de donner aux drains et aux collecteurs a une grande importance. On drainait autrefois avec de très petits tuyaux. Barré de Saint-Venant préconisait pour les drains un diamètre de 2^{cm},5. L'ingénieur anglais Parkes en avait donné l'exemple. Et beaucoup d'anciens drainages ont dû être complètement recommencés, parce que les tuyaux étaient trop petits et qu'ils s'étaient peu à peu bouchés. D'un autre côté, les drains et les collecteurs sont d'autant plus chers qu'ils contiennent davantage de matière, c'est-à-dire qu'ils sont plus gros. Il est donc très important de s'approcher au moins autant que possible des dimensions minima.

En définitive, *un drainage bien fait laisse écouler en un temps déterminé une fraction convenable de la quantité d'eau que la surface qu'il faut assainir a reçue.* Cette quantité d'eau



s'écoule par les drains avec une rapidité qui dépend de leur section et de leur pente. Il faut donc que les drains aient un calibre et une pente déterminés pour qu'ils puissent laisser passer cette masse d'eau dans le temps voulu.

Pour résoudre la question qui nous occupe, il est donc d'abord nécessaire de savoir quelle est la quantité d'eau qu'il faut enlever par hectare et par seconde pour que le sol soit asséché, c'est-à-dire pour que le drainage soit convenable. Il sera facile d'en déduire la quantité d'eau qu'il faudra enlever par seconde pour la surface qu'on se propose de drainer.

Il est clair que cette donnée principale varie avec l'importance des précipités atmosphériques, avec l'énergie de l'évaporation, avec les propriétés mêmes du sol. Elle varie donc avec le climat, l'altitude, le sol et aussi avec la nature des cultures. Par conséquent, on ne peut lui assigner qu'une valeur approchée.

Nous avons exposé les recherches que M. Risler a poursuivies à Calèves sur les quantités d'eau infiltrées à travers les terres cultivées ; ce sont celles que le drainage doit évacuer. Il serait très utile que de semblables expériences fussent poursuivies dans les contrées sujettes au drainage, afin d'évaluer avec exactitude quelle doit être l'intensité de cette amélioration. Bien des chiffres ont été proposés depuis 1850. Nous ne retiendrons ici que ceux qui ont été indiqués il y a quelques années par la Commission générale de Silésie, parce que les conditions dans lesquelles ils ont été établis présentent de sérieuses garanties et qu'ils peuvent s'adapter provisoirement à notre pays. Ils concernent, en effet, une contrée où les chutes annuelles de pluie ne dépassent pas une moyenne de 900 millimètres. Cette chute et les facteurs climatériques qui l'accompagnent sont voisins de ceux qui caractérisent la plupart de nos régions. Les chiffres dont il est question ont servi de base aux calculs des drainages dans toute l'Allemagne et l'Autriche. On admet qu'ils peuvent s'appliquer aux régions où la chute annuelle des pluies est en moyenne inférieure à 900 millimètres. En France, le Service des Améliorations agricoles les a jusqu'ici adoptés. Nous admettrons donc, quant à présent, que le drainage doit évacuer par hectare et par seconde :

Sols argileux, compacts, pays de plaines, avec faible moyenne annuelle de pluies.	0 ¹ ,65
Sols moins imperméables, pays monta- gneux, avec forte moyenne annuelle de pluies	0 ¹ ,80

La Commission générale de Silésie a d'ailleurs déterminé ces chiffres avec le plus grand soin. Elle a installé des stations d'expériences dans les trois régions climatériques qui divisent cette région. Elle a pris les moyennes des chutes de neige et de pluie pour les quatre mois d'hiver (décembre à mars) et les moyennes des plus fortes chutes de pluie pour les mois d'été. Ces observations ont été répétées pendant un grand nombre d'années. Elles ont servi de bases à la détermination des chiffres qui précèdent, en admettant que 50 p. 100 des précipités atmosphériques pénètrent dans le sol et que le drainage doive les évacuer en quatorze jours.

Ce coefficient de 50 p. 100 paraît élevé quand on le compare aux chiffres déterminés par M. Risler.

La quantité d'eau qu'il convient d'enlever ne dépend pas seulement de l'importance des précipités atmosphériques, mais encore de la nature du sol, de son inclinaison, de l'énergie de l'évaporation, etc., facteurs qui entrent tous dans la détermination de la fraction de la somme totale des eaux tombées qui pénètrent dans le sol. Il serait donc intéressant, nous le répétons, que des observations analogues à celles qui ont été faites en Silésie fussent poursuivies dans les régions de notre pays qui ont besoin d'être drainées.

Ces bases étant établies, le calcul des dimensions des tuyaux est très simple.

Cherchons quelle est la surface que peut assainir un tuyau, drain ou collecteur, d'une section et d'une pente données. Soient :

- S , cette surface exprimée en hectares ;
- q , le débit du tuyau par seconde, exprimé en litres ;
- h , sa pente pour une longueur l , exprimée en mètres ;
- d , son diamètre, —
- s , sa section, —
- v , la vitesse de l'eau dans le drain, —



Suivant que le drainage devra évacuer 0^l,65 ou 0^l,80 par seconde et par hectare, on aura évidemment :

$$\begin{aligned} \frac{S}{1} &= \frac{q}{0,65} & \text{ou} & & \frac{S}{1} &= \frac{q}{0,80}, \\ S &= \frac{1}{0,65} \cdot q, & & & S &= \frac{1}{0,80} \cdot q, \\ (4) \quad S &= 1,5383 \cdot q & \text{ou} & & S &= 1,250 \cdot q. \end{aligned} \quad (5)$$

D'autre part,

$$(6) \quad q = s \cdot v = \frac{\pi d^2}{4} \cdot v.$$

Or nous avons admis que v est donné par la formule (1) (p. 441) :

$$(1) \quad v = 3,59 \cdot \frac{a}{b} \sqrt{\frac{50 \, dh}{l + 50 \, d}},$$

Donc :

$$q = 3,59 \cdot \frac{\pi d^2}{4} \frac{a}{b} \sqrt{\frac{50 \, dh}{l + 50 \, d}},$$

ou, en exprimant la pente h pour 100 mètres ($l=100$) et effectuant les calculs numériques :

$$(7) \quad q = 2,818 \, d^2 \frac{a}{b} \sqrt{\frac{hd}{2 + d}}.$$

Rappelons que $\frac{a}{b}$ varie comme il suit avec les diamètres d des drains :

cm	cm.	cm.	cm.	cm.	cm.	cm.	cm.	cm.
$d = 4,00$	5,00	6,50	8,00	10,00	13,00	16,00	18,00	21,00
$\frac{a}{b} = 0,71$	0,75	0,70	0,80	0,83	0,86	0,88	0,90	0,92

En remplaçant dans (4) ou dans (5), par exemple dans (4), q par son expression (7), on obtient une relation entre S , d et h :

$$(8) \quad S = 1,5385 \times 2,818 d^2 \frac{a}{b} \sqrt{\frac{dh}{2+d}}.$$

Par conséquent, à chaque valeur de d et de h correspond pour S une valeur déterminée. On sait que h doit être comprise entre des limites indiquées par (3) (p. 443), où v peut varier entre 0^m,20 et 1 mètre.

Réciproquement, pour des valeurs particulières de S correspondent aussi des valeurs certaines de h et d , en particulier de d si h est donnée.

Cette formule permettra donc de calculer le diamètre qu'il faudra donner à des tuyaux de pente h déterminée pour assainir la surface proposée S .

Si l'on s'était servi, pour l'établir, de l'égalité (5), on aurait obtenu des valeurs un peu plus élevées.

Enfin l'application de la formule de Gieseler (2) (p. 442) :

$$v = 20 \sqrt{\frac{dh}{l}}$$

et les mêmes raisonnements conduiraient pour d à des chiffres légèrement inférieurs.

Emploi de tables et de graphiques pour faciliter les calculs. — Au lieu de faire ces longs calculs, on se sert de tables à double entrée construites à l'aide des formules. Nous reproduisons (p. 449 et 450) les tables publiées par le Service des Améliorations agricoles dans ses *Instructions pratiques sur le drainage*. La première (I) est établie pour les pays d'altitude moyenne, où il suffit que le drainage évacue 0^m,65 par hectare et par seconde ; la deuxième (II) pour les contrées montagneuses à chute d'eau plus élevée, où il faut évacuer 0^m,80 par seconde et par hectare. Il suffit d'examiner ces tables pour se rendre immédiatement compte de leur emploi.

Gerhardt, le premier, croyons-nous, a construit un graphique qui réunit les pentes des drains, leurs diamètres, les vitesses de l'eau et les surfaces drainées. Nous reproduisons page 454 celui qui a été établi en supposant un écoulement

de 0^l,65 par hectare et par seconde. Les annotations qui l'accompagnent nous dispensent d'expliquer son usage. Il ne donne pas des résultats aussi exacts que des tables. Mais il est d'un emploi très pratique.

A. Calibres des drains et longueur maxima des files.

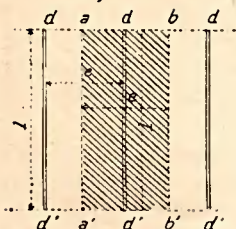


Fig. 107. — Détermination de la longueur maxima des files de drains.

— Les drains sont tous du même diamètre. Autrefois, on préconisait les drains de très faible diamètre. Barré de Saint-Venant trouvait que le diamètre de 2^{cm},5 était suffisant. *Aujourd'hui, on ne descend pas au-dessous de 0^m,04, et même le Service des Améliorations agricoles recommande d'aller jusqu'à 0^m,05, afin d'éviter plus sûrement les obstructions, l'écueil le plus sérieux des travaux de drainage.*

On ne calcule donc pas les calibres des drains. Mais chaque file de drains dd' (fig. 107) assainit, comme nous l'avons vu, une surface maxima $aba'b'$, déterminée par les formules (1), (3) et (4). Et par conséquent, à chaque écartement e des lignes de drains correspond une longueur l , que les files de tuyaux ne peuvent pas dépasser sans que le drainage soit compromis.

Or, on a :

$$S = le,$$

d'où

$$l = \frac{S}{e}.$$

A l'aide de cette formule et des formules précédentes, nous calculerons l pour les diamètres 0^m,04 et 0^m,05, la pente minima de 2,5 p. 1 000, les débits par hectare et par seconde de 0^l,65 et 0^l,80 et les écartements les plus usuels de 12, 15, 20, 25 et 30 mètres.

1. — Table pour déterminer les diamètres des drains ou des collecteurs en supposant nécessaire un écoulement de 0,65 par seconde et par hectare, la vitesse v de l'eau dans les tuyaux étant calculée par la formule de Vinent.

SURFACES DRAINÉES								
Avec une pente pour 100 mètres de	AVEC DES TUYAUX D'UN DIAMÈTRE DE							
	4 cm.	5 cm.	6 ^{cm} ,5	8 cm.	10 cm.	13 cm.	16 cm.	21 cm.
	ha.	ha.	ha.	ha.	ha.	ha.	ha.	ha.
0,03	»	»	»	»	»	3,94	8,42	12,42
0,10	»	»	»	1,38	2,48	8,44	11,49	17,13
0,15	»	»	»	1,68	3,04	6,03	10,30	21,00
0,20	»	0,37	1,13	1,95	3,51	6,96	11,88	24,25
0,25	0,34	0,63	1,27	2,18	3,93	7,78	13,29	27,41
0,30	0,38	0,69	1,39	2,38	4,30	8,52	14,56	29,70
0,35	0,41	0,75	1,50	2,58	4,64	9,21	15,73	32,08
0,40	0,44	0,80	1,60	2,75	4,97	9,85	16,81	34,27
0,45	0,46	0,85	1,70	2,92	5,27	10,44	17,83	36,37
0,50	0,49	0,90	1,79	3,08	5,55	11,00	18,80	38,34
0,55	0,51	0,94	1,88	3,24	5,82	11,55	19,71	40,21
0,60	0,53	0,98	1,96	3,37	6,08	12,06	20,59	42,00
0,65	0,56	1,02	2,04	3,51	6,33	12,55	21,43	43,72
0,70	0,58	1,06	2,12	3,65	6,57	13,03	22,24	45,37
0,75	0,60	1,10	2,20	3,78	6,80	13,48	23,02	46,96
0,80	0,63	1,13	2,27	3,90	7,02	13,92	23,77	48,50
0,85	0,64	1,17	2,34	4,03	7,24	14,35	24,51	49,99
0,90	0,66	1,20	2,40	4,13	7,45	14,76	25,22	51,44
0,95	0,68	1,23	2,47	4,24	7,65	15,17	25,91	52,85
1,00	0,69	1,27	2,54	4,36	7,85	15,57	26,58	54,22
1,50	0,85	1,55	3,11	5,33	9,62	19,07	32,56	66,43
2,00	0,98	1,80	3,59	6,16	11,40	22,02	37,59	76,67
3,00	1,20	2,20	4,39	7,55	13,60	26,96	46,04	93,92
4,00	1,38	2,54	5,07	8,71	15,70	31,43	53,17	108,45
5,00	1,54	2,84	5,67	9,73	17,55	34,81	59,44	121,23
6,00	1,69	3,11	6,21	10,66	19,23	38,14	65,13	132,85
7,00	1,82	3,36	6,71	11,51	20,77	41,49	70,34	143,48
8,00	1,95	3,59	7,18	12,31	22,20	44,04	75,18	153,33
9,00	2,07	3,81	7,61	13,07	23,56	46,70	79,75	162,67
10,00	2,10	4,02	8,02	13,76	24,82	49,23	84,06	171,46

II. — Table pour déterminer les diamètres des drains ou des collecteurs en supposant nécessaire un écoulement de 0^h 80 par seconde et par hectare, la vitesse v de l'eau dans les tuyaux étant calculée par la formule de Vincent.

SURFACES DRAINÉES							
Avec une pente pour 100 mètres de	AVEC DES TUYAUX D'UN DIAMÈTRE DE						
	4 cm.	6 cm.	6cm,5	8 cm.	10 cm.	13 cm.	16 cm.
	ha.	ha.	ha.	ha.	ha.	ha.	ha.
0,10	»	»	»	1,12	2,02	4,00	6,83
0,20	0,25	0,46	0,92	1,58	2,85	5,65	9,66
0,25	0,28	0,52	1,03	1,76	3,19	6,33	10,80
0,30	0,31	0,56	1,12	1,93	3,49	6,92	11,82
0,40	0,35	0,65	1,31	2,23	4,04	7,99	13,65
0,50	0,39	0,73	1,46	2,50	4,51	8,94	15,27
0,75	0,48	0,90	1,79	3,06	5,52	10,95	18,71
1,00	0,56	1,03	2,06	3,54	6,38	12,65	21,60
1,50	6,68	1,27	2,52	4,33	7,81	15,30	26,46
2,00	0,79	1,46	2,91	5,00	9,02	17,88	30,54
3,00	0,96	1,79	3,58	6,11	11,05	21,91	37,41
4,00	1,12	2,06	4,12	7,07	12,76	25,30	43,20
5,00	1,25	2,30	4,60	7,91	14,27	28,29	48,30
6,00	1,36	2,53	5,04	8,66	15,63	30,98	52,90
7,00	1,47	2,74	5,45	9,37	16,88	33,47	57,15
8,00	1,58	2,92	5,82	10,00	18,04	35,77	61,08
9,00	1,68	3,09	6,18	10,60	19,14	37,94	64,80
10,00	1,77	3,26	6,52	11,19	20,18	40,00	68,30
11,00	1,86	3,43	6,83	11,74	21,16	41,96	71,65
12,00	1,93	3,58	7,15	12,27	22,10	43,82	74,82
13,00	2,01	3,72	7,43	12,77	23,00	45,62	77,89
14,00	2,09	3,87	7,71	13,23	23,87	47,34	80,83
15,00	2,15	4,00	7,99	13,69	24,71	49,00	83,66
16,00	2,24	4,13	8,24	14,15	25,52	50,59	86,39
17,00	2,31	4,26	8,50	14,58	26,30	52,16	89,06
18,00	2,38	4,38	8,75	15,02	27,07	53,67	91,65
19,00	2,43	4,49	8,98	15,44	27,80	55,14	94,17
20,00	2,50	4,60	9,20	15,82	28,54	56,58	96,60

ÉCARTEMENT des files de drains	LONGUEUR MAXIMA DES FILES DE DRAINS : $l = \frac{S}{e}$.			
	De 0 ^m ,04 de diamètre, ayant 2,5 p. 1 000 de pente.		De 0 ^m ,05 de diamètre, ayant 2,5 p. 1 000 de pente.	
	Débit de 0 ^l ,65 par hectare et par seconde, $s = 0^{\text{hs}},34$.	Débit de 0 ^l ,80 par hectare et par seconde, $s = 0^{\text{hs}},28$.	Débit de 0 ^l ,65 par hectare et par seconde, $s = 0^{\text{hs}},63$.	Débit de 0 ^l ,80 par hectare et par seconde, $s = 0^{\text{hs}},51$.
Mètres.	Mètres.	Mètres.	Mètres.	Mètres.
12	283	233	525	425
15	226	186	420	340
20	180	140	315	255
25	236	112	252	204
30	113	93	210	170

En pratique, pour les drains de 0^m,04, on ne dépasse pas, pour la longueur l des files, 150 mètres ; on va exceptionnellement jusqu'à 200 mètres, mais pour quelques lignes isolées. Avec des drains de 0^m,05, on peut admettre une longueur plus considérable. Mais, faute d'expérience bien établie à ce sujet, nous préférons nous tenir à l'ancienne limite de 150 mètres. Lorsqu'une file de drains doit dépasser cette longueur, on la coupe par un collecteur de reprise (fig. 99, p. 433).

B. Calibres et longueur maxima des collecteurs. — On ne donne pas aux collecteurs, quel que soit leur débit, une longueur supérieure à 1 000 mètres. Ces collecteurs sont d'ailleurs, sauf les exceptions que nous indiquerons, juxtaposés ; ils fonctionnent comme des drains dans leurs environs immédiats. Mais on leur assure un débit d'autant plus grand et, par conséquent, on leur donne une section d'autant plus forte qu'ils desservent une plus grande surface. Leur section doit donc aller en augmentant de l'amont vers l'aval. Il en est généralement de même pour leur pente, et il faut s'efforcer qu'il en soit ainsi. Il est indispensable de calculer les diamètres des collecteurs ; d'abord, afin d'être sûr qu'ils seront capables



d'écouler les quantités d'eau qu'ils recevront, puis afin de ne pas leur donner une section plus considérable qu'il n'est nécessaire. Le prix des tuyaux de grand diamètre augmente en effet rapidement (Voy. p. 500) et avec lui le coût du drainage.

Le diamètre des collecteurs ne doit pas dépasser en général 0^m,16. On doit calculer la section des collecteurs de manière que, en tenant compte de leur pente, ils soient capables de débiter en chacun de leurs points la quantité d'eau qu'ils reçoivent.

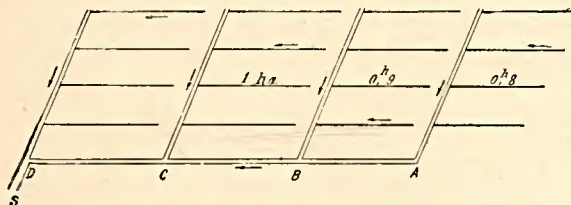


Fig. 108. — Calcul des diamètres des segments d'un collecteur.

Il faut donc évaluer la surface versante aux points où se jette chacune des files de drains. On y parvient facilement soit à l'aide du planimètre, soit en mesurant chacun des trapèzes compris entre deux files de drains et y ajoutant chaque fois la surface située en amont de l'avant-dernière file.

Exemple : soit ABCD (fig. 108) le collecteur dont il s'agit. Supposons qu'il ait une pente de 0,3 p. 100 de A en B et de 0,4 p. 100 de B en D. Supposons, en outre, qu'il ait à recevoir les eaux :

De A en B.....	De 0 ^{ha} ,8
De B en C.....	De 0 ^{ha} ,8 + 0 ^{ha} ,9 = 1 ^{ha} ,7
De C en D.....	De 1 ^{ha} ,7 + 1 ^{ha} ,0 = 2 ^{ha} ,7

La table I (p. 449) ou le graphique (p. 454) montrent immédiatement que de A en B le diamètre du collecteur devra être compris entre 0^m,05 et 0^m,06 ; nous adopterons donc ce dernier ; que de B en C le diamètre de ce collecteur devra atteindre 0^m,07, et de C en D 0^m,08.

De plus, le graphique indique aussi que de A en B la vitesse de l'eau dans le collecteur sera de 0^m,30 à la seconde ; de B en C et de C en D, de 0^m,40.

Il est bon d'accompagner le plan du drainage d'un tableau dans lequel on indique pour les collecteurs, avec l'étendue des bassins successifs, les pentes, les diamètres et les vitesses de l'eau. Nous donnons ci-dessous le modèle que l'on peut adopter pour dresser ces tableaux :

COLLEC- TEURS.	SEG- MENTS.	BASSINS		PENTES p. 100.	DIA- MÈTRE.	VITESSE approxima- tive de l'eau.
		élémen- taires.	complets.			
1	A-B	»	0 ^h ,8	9,3	m.	0 ^m ,30
	B-C	0 ^h ,9	1 ^h ,70	0,3	7 cm.	0 ^m ,40
	C-D	1 ^h ,0	2 ^h ,70	0,4	8 cm.	0 ^m ,40

6. — Évacuation des eaux. — Émissaire. — Bouches.

Il est évident que le drainage ne peut fonctionner qu'à la condition expresse que les eaux s'écoulent facilement et rapidement en tout temps. L'*émissaire* est le cours d'eau, le canal ou le fossé qui réalise cette évacuation. Les points de rencontre des collecteurs et de l'émissaire s'appellent *bouches*.

L'émissaire doit être, au besoin, rectifié de telle sorte que le niveau des eaux moyennes soit situé sensiblement au-dessous des bouches et que les hautes eaux puissent y couler sans déborder.

D'autre part, le plafond doit avoir au minimum une pente de 4 p. 1 000 et une largeur de 0^m,30 avec des talus dont l'inclinaison maxima est de $\frac{1}{1,5}$.

On calculera le débit en estimant, avec le Service des Améliorations agricoles, qu'en eau moyenne l'émissaire doit porter 11 litres environ par kilomètre carré de surface versante et, au moment des hautes eaux, 65 à 110 litres pour les terrains



de plaine, et 110 à 200 litres pour les terrains accidentés ou montagneux.

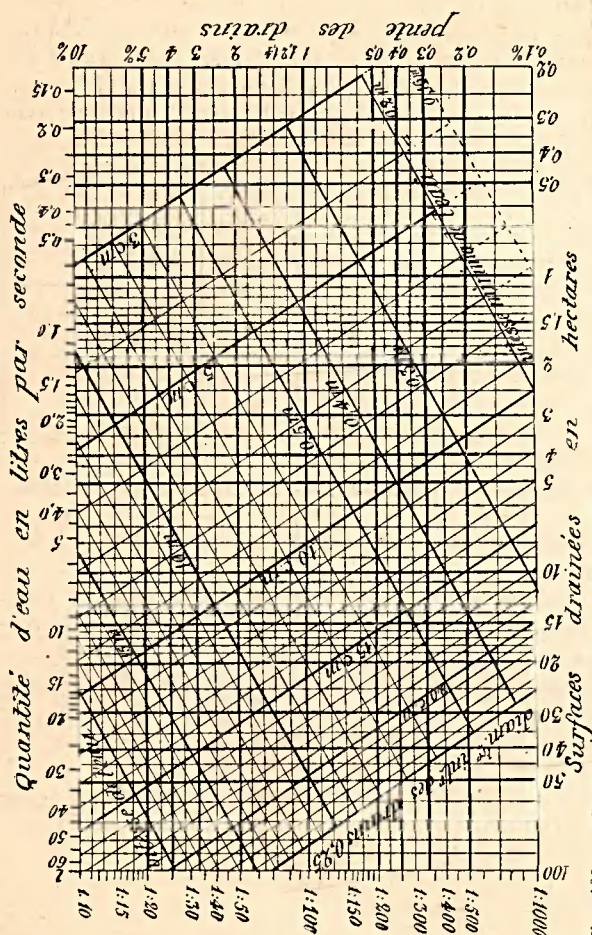


Fig. 109. — Graphique pour déterminer le diamètre des drains, d'après leur pente et la surface qu'ils doivent assainir. On suppose nécessaire un écoulement de 0,65 par seconde et par hectare.

La surface versante se détermine soit à l'aide d'une carte à grande échelle, soit au planimètre.

Si la pente était naturellement trop forte, on protégerait, avec les moyens ordinaires, le plafond et le talus contre le ravinement, ou l'on établirait de place en place des paliers à pente faible séparés par des seuils verticaux suivis de radiers.

Les débits maxima et minima ainsi que la pente étant connus, on calculera la section suivant les procédés que nous avons indiqués à propos des canaux d'arrosage (Voy. p. 220 à 230). Il conviendra de prendre $n=0,03$ dans la formule de Ganguillet et Kutter.

Le collecteur principal, suivi du tuyau formant la bouche, doit arriver dans l'émissaire sous un angle de 45° dans le sens de l'écoulement.

La bouche doit être toujours située à 20 ou 30 centimètres au-dessus du niveau des eaux dans l'émissaire. Si l'on s'écarte de cette règle, comme il arrive trop souvent, l'effet du drainage est compromis, et il faut craindre les obstructions des tuyaux.

D'un autre côté, il ne faut pas qu'elle soit à moins de $0^m,80$ de la surface du sol, dans la crainte des gelées. Si c'est impossible, on disposera la bouche dans un endroit où elle sera au moins à cette profondeur minima en amont de l'émissaire, quitte à la mettre en communication avec celui-ci en traçant un fossé.

Nous avons vu que l'ensemble des tuyaux qui correspondent à une bouche constitue un *système* de drainage. Il doit n'y avoir que le moins de bouches possible ; par conséquent, les systèmes de drainage doivent avoir la plus grande étendue possible, pourvu, toutefois, que le diamètre du collecteur principal ne soit pas trop fort ; il ne doit pas dépasser $0^m,16$ en général.



CHAPITRE VII

EXÉCUTION DU DRAINAGE.

DRAINAGE A L'AIDE DE TUYAUX DE POTERIE.

Époque de l'année convenable à l'exécution du drainage. — Au seul point de vue économique, c'est en automne ou en hiver que l'on devrait de préférence exécuter les travaux de drainage. En effet, le sol est libre, et, comme le personnel agricole est moins occupé qu'à toute autre époque de l'année, la main-d'œuvre est moins chère. Mais il arrive souvent que l'automne et l'hiver sont trop humides. En outre, des alternatives de gel et de dégel nuisent à la construction des fossés, et la neige, en recouvrant les travaux, est très incommode. Dans la plupart de nos régions, c'est la période qui s'écoule de la mi-août à fin novembre qui est la plus convenable.

L'exécution du drainage comporte le programme de travaux indiqué ci-après :

- 1° Arpentage et nivellement du terrain à drainer (1) ;
- 2° Etude expérimentale du sol, au point de vue de sa constitution physique ; sondages ; conditions hydrologiques et météorologiques ;
- 3° Établissement du projet de drainage et du plan ;
- 4° Piquetage du réseau de drainage ou tracé sur le terrain des collecteurs et des drains ;
- 5° Transport et arrangement des tuyaux ;
- 6° Exécution des tranchées ;
- 7° Pose des collecteurs et des drains ;
- 8° Remblayage des tranchées ;
- 9° Correction de l'émissaire ;
- 10° Travaux et ouvrages accessoires ; regards, bouches, etc.

(1) Tout ce que nous disons ici s'applique aussi bien aux tracés des irrigations. Nous renvoyons le lecteur, pour plus de détails, au volume de M. MURER, professeur à l'Institut national agronomique, consacré, dans l'ENCYCLOPÉDIE AGRICOLE, à l'*Arpentage* et au *Nivellement*.



I. — Arpentage et nivellement du terrain à drainer.

La position des drains et celle des collecteurs, leur nombre, dépendent de la dimension, de la forme et des pentes du terrain.

L'*arpentage* mesure et détermine avec précision les pièces de terre qu'il s'agit de drainer. Ses opérations sont bien connues, ses instruments aussi : chaîne, équerre, d'arpenteur, jalons, etc. Nous ne pouvons en parler ici.

A. *Nivellement*. — Il permet d'apprécier la forme superficielle du terrain et la direction de ses pentes. Il joue donc un rôle d'importance capitale. Il est à la base des opérations de drainage et d'irrigation. Nous rappellerons les instruments qu'il emploie et ses méthodes les plus recommandables, dans les circonstances qui nous occupent. Voici d'abord les définitions fondamentales.

Deux points sont au même *niveau* lorsqu'ils sont à la même hauteur, appelée *cote*, au-dessus de la surface *horizontale* représentée par la surface de la mer supposée prolongée (et que nous pouvons considérer comme plane en raison de la faible étendue relative de notre champ d'opération), ou au-dessus de *tout autre plan horizontal* arbitrairement choisi. S'ils sont à des hauteurs inégales, ils ne sont plus au même niveau. Et le nivellement a pour objet de déterminer cette différence de niveau.

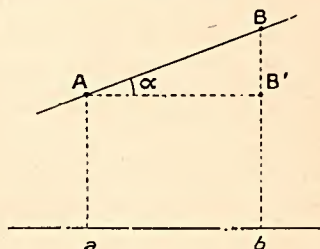


Fig. 110. — Définition de la *pente*.

Rappelons que la différence de niveau $Bb - Aa$ (fig. 110) de deux points A et B, divisée par la distance ab qui sépare les projections de ces deux points sur le plan horizontal, mesure la pente de la ligne AB. Ce rapport n'est autre chose que la valeur de ce qu'on appelle en trigonométrie la pente de l'angle α que fait la *direction* AB avec l'*horizon* ou avec la *droite horizontale* AB' prolongée. Par conséquent, dire qu'une ligne AB qui peut représenter soit une route, soit un chemin, ou le fond d'un fossé, etc., a une pente de 0^m,05 par mètre, signifie que le rapport constant :

$$\frac{Bb - Aa}{ab} = \frac{BB'}{AB'} = 0^m,05.$$

Si pour $AB' = 1$ mètre, $BB' = 0^m,05$, pour $AB' = 100$ mètres, $BB' = 5$ mètres ; cette pente de 0^m,05 est une pente de 5 p. 100. Rappelons encore qu'en topographie on n'envisage pas les lignes réelles AB ou les surfaces S telles qu'elles sont sur le terrain, mais

leurs projections *ab* ou *s* sur le plan horizontal. C'est pourquoi la différence de niveau *BB'* n'est pas rapportée, pour caractériser la pente, à la ligne réelle *AB*, comme on pourrait d'abord y penser, mais à la projection horizontale *ab* de cette ligne.

Si l'on réunit par une ligne continue les différents points de la surface d'un terrain qui sont au même niveau au-dessus du plan horizontal choisi, dit de *comparaison*, ou qui ont la même *cote*, on trace une ligne courbe, plus ou moins sinueuse, appelée *horizontale* ou *courbe de niveau*. C'est l'intersection de la surface du sol avec un plan horizontal.

Le plan de comparaison peut être arbitrairement choisi. C'est ainsi qu'il peut passer par le point le plus bas du champ et recevoir la cote 0, ou qu'il peut être supposé passer à une hauteur déterminée, 10 ou 20 mètres au-dessous ou au-dessus de ce point.

S'il existe dans le voisinage des lieux un point fixe, dont on connaisse le niveau au-dessus de la mer, comme les repères que l'on rencontre sur les routes nationales et les voies ferrées, il vaut mieux rapporter les cotes du terrain à la cote de ce point et, par suite, au niveau de la mer, qui devient le plan de comparaison ; dans ce cas, les cotes prennent le nom d'*altitudes*.

Si l'on coupe le terrain par une série de plans horizontaux, équidistants *dans le sens vertical*, depuis le point le plus bas jusqu'au point le plus haut, on obtient une série d'horizontales, *nnn, n'n'n', n''n''n''*, généralement courbes (fig. 114), qui caractérisent bien le terrain. En pratique, cette équidistance, qu'on appelle *équidistance des courbes*, est d'autant plus grande que le terrain est plus incliné ; elle sera, par exemple, de 1 mètre, 0^m,50 ou 0^m,25. Plus les courbes de niveau sont rapprochées sur le plan, plus forte est donc la pente du sol et inversement. Leur convexité tournée vers l'aval indique une *ligne de faite* ; tournée vers l'amont, un *thalweg*.

La perpendiculaire commune à la ligne qui représente leur orientation moyenne indique la direction de la *plus grande pente du sol*.

Pour obtenir les cotes des différents points d'un terrain, on se sert d'instruments appelés *niveaux* et *mires*.

Il y a plusieurs genres de niveaux.

Nous dirons quelques mots du *niveau d'eau*, du *niveau-collimateur* du colonel Goulier et du *niveau à lunette*.

C'est le niveau d'eau que l'on peut recommander le plus chaudement aux agriculteurs, pour sa simplicité, son emploi facile et la modicité de son prix. Il est parfaitement suffisant chaque fois qu'il ne doit servir qu'à des opérations de faible portée. Il permet d'apprécier la cote à 0^m,01 près, à une distance de 25 mètres ; à 0^m,02 près, à 40 mètres ; par conséquent, sa précision n'est plus suffisante lorsque les deux points à observer sont séparés par plus de 80 mètres. Passé cette distance, il faut établir des stations intermédiaires.

Le *niveau-collimateur* du colonel Goulier a l'avantage de ne pas demander d'eau. En outre, son volume est très petit. Il tient dans une

gaine de cuir et se porte en bandoulière. Il conduit à peu près aux mêmes résultats et à la même précision — à 30 mètres — que le niveau d'eau. On lui reproche, toutefois, d'être d'un maniement difficile par les grands vents, parce que le viseur bouge. D'ailleurs, il ne convient pas non plus pour les opérations d'ensemble ni de longue portée.

Pour celles-là, on fait usage des *niveaux à lunettes*, qui permettent de viser jusqu'à 120 mètres environ.

Les *mires* sont les auxiliaires du niveau.

Ce sont des règles graduées, destinées à être placées verticalement aux points dont on veut déterminer les cotes.

La mire la plus simple se compose d'une règle de bois, graduée en centimètres, d'une hauteur de 2 mètres. Le long de cette règle peut glisser et s'arrêter, à l'aide d'une vis de pression ou d'un ressort, une plaque rectangulaire en tôle appelée *voyant*. La face de ce voyant, tournée vers l'opérateur, est partagée en quatre rectangles égaux. Deux d'entre eux, opposés par le sommet, sont blancs ; les deux autres sont noirs ou rouges. L'horizontale séparant les rectangles de teinte différente se nomme *ligne de foi*. Le voyant porte, en arrière, un petit vernier dont le zéro correspond à la ligne de foi et à l'aide duquel on peut évaluer les millimètres.

La *mire composée* permet d'évaluer des hauteurs supérieures à 2 mètres. Elle est formée de deux parties glissant à coulisse l'une sur l'autre. On les fixe à l'aide d'une vis de pression. On peut ainsi atteindre environ 3^m,90 de hauteur.

Les mires sont confiées à des aides appelés *porte-mire*. Ce sont eux qui doivent faire la lecture sur les appareils que nous venons de décrire. On construit des *mires parlantes*, à divisions très apparentes, que l'opérateur peut lire lui-même.

Le niveau assure l'horizontalité parfaite de la visée. Celle-ci rencontre la mire en un point dont la graduation permet d'évaluer la hauteur, au-dessus du point, sur lequel cette mire est posée.

Le nivellement est *simple* ou *composé* : simple lorsque l'on opère à partir d'une seule et même station pour obtenir la différence de niveau entre deux ou plusieurs points ; composé lorsqu'il faut s'établir à plusieurs stations.

La possibilité d'obtenir par un nivellement simple la différence de niveau entre deux points dépend de la distance qui sépare ces points dans le sens horizontal et dans le sens vertical, ainsi que du genre de niveau et de mire que l'on emploie.

Dans le cas du nivellement simple, pour avoir la différence de niveau

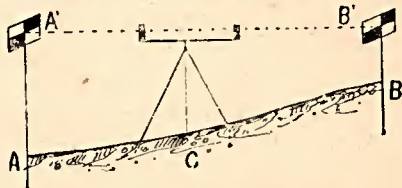


Fig. 114. — Nivellement simple.



entre A et B (fig. 111), on place le niveau en C, entre A et B, à peu près à la même distance de chacun de ces points, mais pas nécessairement sur la droite qu'ils déterminent, et on lit sur la mire les hauteurs AA' et BB' dont la différence fait connaître le résultat cherché.

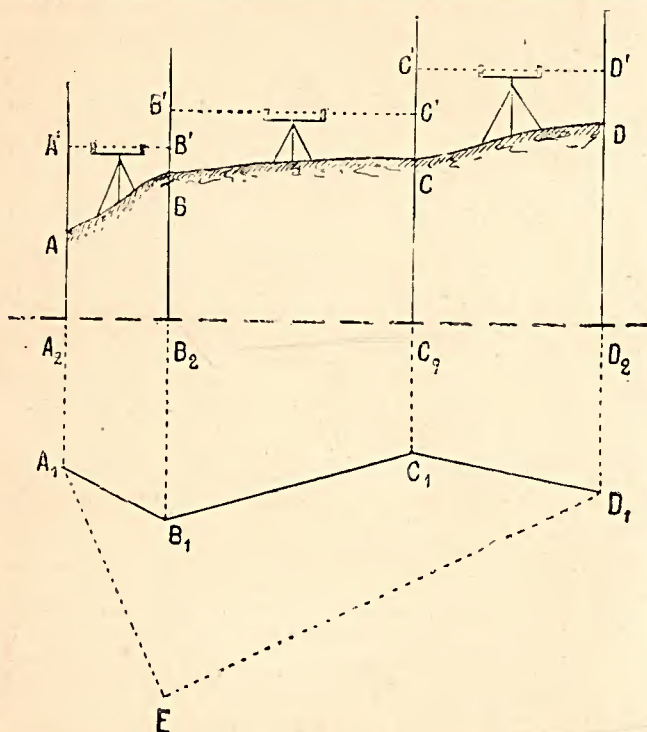


Fig. 112. — Nivellement composé.

A, B, C, D, projections verticales; A_1 , B_1 , C_1 , D_1 , projections horizontales des points visés.

Si l'opération se fait en allant de A vers B, la visée sur A est le *coup arrière*, celle sur B le *coup avant*. Les hauteurs AA' et BB' portent les mêmes dénominations de *coup arrière* et de *coup avant*.

Si la différence entre le *coup arrière* et le *coup avant* est positive, le point B est plus élevé que le point A; si elle est négative, c'est le point A qui est le plus élevé.

Connaissant l'altitude du point A, on obtient celle de B en y ajoutant *avec son signe*, positif ou négatif, la différence de niveau.

Du point C, en faisant pivoter l'instrument, on peut mesurer les différences de hauteur de tous les points visibles situés autour de la station C.

Au point de vue de la précision, il y a toujours avantage à s'établir avec le niveau à peu près également entre A et B.

Le *nivellement composé* est une suite de nivellements simples (fig. 112) effectués successivement entre A et B, B et C, C et D, soit en trois stations.

L'inspection de la figure montre facilement que la différence de niveau entre les points A et D est égale à la différence entre la somme des coups arrière donnés sur les points A, B, C, et la somme des coups avant dirigés sur les points B, C et D. Si cette différence est positive, le point D est plus élevé que le point A ; si elle est négative, c'est le point A qui est au contraire le plus élevé.

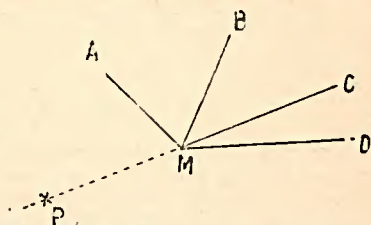


Fig. 113. — Nivellement par rayonnement.

Si l'on connaît l'altitude du point A, on en déduira celle du point D en ajoutant à l'altitude connue la différence de niveau avec son signe.

Quand on veut déterminer les altitudes de plusieurs points situés d'une manière indépendante sur le terrain, on peut procéder soit par *rayonnement*, soit par *cheminement*.

La méthode par rayonnement est très rapide, mais elle ne présente pas de vérification. Toutefois son exactitude est suffisante pour les besoins de l'agriculteur. Ce n'est autre chose qu'un nivellement simple effectué d'une station sur tous les points dont on cherche la hauteur et que l'on peut viser.

Soit M la station (fig. 113) ; on commence par faire porter la visée sur le point P dont on connaît la hauteur P_1 , soit parce qu'il constitue un repère, soit parce qu'il représente le dernier point dont on ait déterminé l'altitude. Soit P' la hauteur lue sur la mire. Celle de la ligne de visée, N, en M est égale à

$$P_1 + P' = N.$$

On fait ensuite porter la mire sur tous les points que l'on veut viser de la station M et dont on veut connaître les hauteurs.

Soient A_1 , B_1 , C_1 et D_1 , les altitudes ou hauteurs des points A, B, C et D ; A' , B' , C' et D' les résultats des lectures faites sur la mire en

chacun de ces points après les coups de niveau. On a évidemment :

$$A_1 = N - A'; \quad B_1 = N - B'; \quad C_1 = N - C'; \quad D_1 = N - D'.$$

On porte les données et les résultats des opérations sur un carnet disposé comme il suit :

POINTS.	HAUTEURS du voyant.	COTES des points de repère.	COTES des points nivelés.	OBSERVATIONS.

Dans la méthode par *cheminement*, on se transporte successivement entre chacun des points A_1 , B_1 , C_1 , D_1 (fig. 112), effectuant ainsi un nivellement composé ; comme vérification, on peut revenir au point de départ en passant par un point E, ou plusieurs arbitrairement choisis. L'exactitude de l'opération se vérifie par la fermeture du cheminement. Il y a toujours un écart, mais il ne doit pas dépasser certaines limites, qui varient avec la nature des instruments employés, les précautions prises, le nombre des stations, etc.

Les résultats des observations s'inscrivent sur un calepin disposé comme il suit :

INDICATIONS des points.	HAUTEURS du voyant.		DIFFÉRENCES de niveau.		COTES des points.	OBSERVATIONS.
	Coup arrière.	Coup avant.	Négatives.	Positives.		

B. Détermination des horizontales du terrain. — Nous avons dit que les horizontales qui représentent les intersections du terrain par les plans horizontaux équidistants caractérisent la forme du terrain et permettent de tracer les lignes de plus grande pente. Pour dresser un plan de drainage et même pour s'orienter directement sur le terrain, il est indispensable de tracer ces horizontales. On y

parvient facilement lorsqu'on connaît les quelques principes de nivellement que nous venons de rappeler.

Les horizontales sont verticalement espacées entre elles de 1 mètre, 0^m,50 ou 0^m,25, suivant que le terrain est plus ou moins incliné ; de la sorte, leur distance en plan n'excède pas 20 à 30 mètres.

La détermination des horizontales peut se faire suivant trois procédés.

Le premier, que l'on peut désigner sous le nom de *méthode directe*, consiste à chercher sur le terrain tous les points qui marquent les inflexions notables des courbes de niveau, procédé précis, mais qui nécessite souvent beaucoup de temps pour le levé et le report sur le dessin.

C'est la méthode la plus simple et que les personnes qui ne sont pas au courant de la topographie peuvent le plus facilement employer.

Le second procédé peut s'appeler *méthode des carrés* ou du *quadrillage*, ou encore *méthode par interpolation*. C'est la seule qui soit employée dans les entreprises de drainage de quelque importance. Elle consiste à diviser le terrain à l'aide de parallèles convenablement espacées, de 20, 30, 40, 50 mètres par exemple, en un certain nombre de carrés. On détermine les cotes des sommets de ces carrés. Et, grâce à ces cotes, un calcul de proportion indique les points de passage des horizontales sur les différentes parallèles. Cette méthode est généralement plus expéditive que la précédente ; mais le terrain peut présenter à l'intérieur des carrés des ondulations qui échappent à la définition donnée par les courbes.

Enfin la troisième méthode, dite *méthode des profils*, permet de tenir compte des accidents du terrain, tout en étant très rapide, mais on ne peut déterminer avec précision les cotes des différents points sur les profils que lorsque ceux-ci sont suffisamment inclinés sur les horizontales ; sinon il faut recourir au calcul.

1^o Méthode du tracé direct des horizontales sur le terrain. — La voici simplifiée, telle qu'elle est indiquée par Hervé-Mangon dans ses *Instructions pratiques sur le drainage*.

Jalonnage. — On fait tracer sur le terrain de forme quelconque ABCDEF (fig. 114), avec des jalons et dans une direction arbitraire, mais qu'il convient de choisir suivant la pente générale du sol, une série de parallèles équidistantes, 1, 1 ; 2, 2 ; 3, 3, etc. Ces

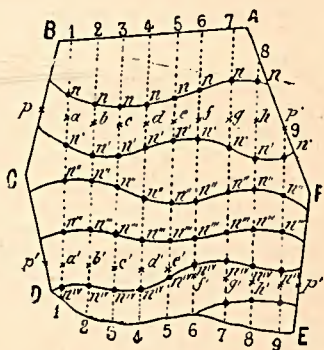


Fig. 114. — Levé et nivellement d'un terrain. — Tracé direct des horizontales.

lignes peuvent être espacées de 50 mètres les unes des autres dans un terrain très régulier ; on les rapprocherait beaucoup plus dans un terrain très accidenté.

Le placement de ces jalons est on ne peut plus facile ; on trace au hasard l'une des lignes, 4, 4, par exemple ; puis, avec une équerre d'arpenteur, on fait placer perpendiculairement à sa direction, et à une distance quelconque, les jalons $p, p... ; p', p'$, qui déterminent deux lignes sur chacune desquelles on mesure avec la chaîne des longueurs égales entre elles et à l'espacement que l'on veut mettre entre les parallèles. A chacun des points $a, b, c, d... ; a', b', c', d'...$, déterminés par ces chaînages, on met un jalon ; ces jalons appartiennent, deux à deux, aux lignes cherchées 1, $a, a', 1 ; 2, b, b', 2 ; 3, c, c', 3... ; 5, e, e', 5$, et ainsi de suite, et permettent de les compléter rapidement, en servant de guide, au besoin, pour le placement de quelques autres jalons.

Nivellement. — Lorsque les lignes de jalons sont ainsi disposées, le niveleur, muni d'un niveau d'eau ou mieux d'un niveau à bulle et à lunette, se place dans un point tel qu'il puisse embrasser le plus grand espace possible d'une seule visée ; puis il fait placer son porte-mire en un point n de la ligne 1, 1, par exemple, rattaché au point fixé pris pour repère de nivellement et placé dans la partie la plus haute de cette ligne. Le porte-mire, après avoir très solidement fixé le voyant de la mire, place en ce point un jalon facile à distinguer des autres par la couleur du papier placé à la tête ou par tout autre signe ; il se trans- porte alors sur la ligne 2, 2 et monte ou descend sur cette ligne, suivant les indications de l'opérateur, jusqu'à ce que le voyant de la mire se trouve de nouveau dans la ligne de visée du niveau, qui n'a pas dû être déplacé (1).

Le point n de la ligne 2, 2 ainsi déterminé est, évidemment, à la même hauteur que le premier point n de la ligne 1, 1. Le porte-mire y place un jalon semblable à celui qu'il a mis à ce dernier point, puis il

(1) Dans ces conditions, la cote du point n est le plus souvent *quelconque*, et nous croyons qu'il est préférable de déterminer ce point, de telle sorte que sa hauteur soit une cote ronde multiple de l'équidistance adoptée. A cet effet, l'opérateur, après avoir établi la hauteur N du plan de visée, comme dans le nivellement par rayonnement, fait placer le voyant de la mire à la hauteur $(N - M)$, M représentant un multiple de l'équidistance moindre que N , et le porte-mire, sur chaque ligne 1, 2, 3, ..., déplace la mire comme l'indique Hervé-Mangon. Par exemple, si le plan de visée est à 15,87, il en retranche 15,50, multiple de l'équidistance 0,50, et fait placer le voyant à 15,87 — 15,50 = 0,37. Quand la ligne de foi sera dans le plan de visée, le pied de la mire donnera un point n à 15,50. Si aucun point du terrain n'atteint cette altitude, on montera le voyant 0,50 plus haut, c'est-à-dire à 0,87, et le pied de la mire donnera un point n plus bas que le précédent, à 15,00. (*Note des auteurs.*)

se transporte sur la ligne 3, 3, toujours sans changer le voyant, et détermine sur cette ligne un nouveau point situé au même niveau que les deux premiers ; il continue de la même manière pour les autres lignes. Tous ces points n se trouvent à une même hauteur, que nous supposons, pour fixer les idées, à 15 mètres, par exemple, au-dessus du plan pris pour terme de comparaison.

Lorsqu'il a été ainsi déterminé un point n sur toutes les lignes d'opération, on enlève (puisqu'on a supposé que l'on avait commencé par le haut de la pièce) le voyant de la mire de l'intervalle que l'on veut mettre entre les plans horizontaux d'opération, soit de $0^m,50$, et l'on détermine, toujours sans changer le niveau de place, une nouvelle série de points n' placés dans un plan inférieur de $0^m,50$ au plan des points n , c'est-à-dire à $15,00 - 0,50$ ou $14^m,50$ au-dessus du plan de comparaison. Puis on élève de nouveau le voyant de la mire de $0^m,50$, et l'on détermine une nouvelle série de points n'' , qui se trouve à la cote 15 mètres — $0^m,5 - 0^m,5 = 14$ mètres au-dessus du plan de comparaison, et ainsi de suite.

En joignant par la pensée les points $n, n; n', n'; n'', n''$, par des lignes tracées à la surface du sol, il est clair que ces lignes représentent l'intersection du terrain par des plans horizontaux équidistants. Ces lignes sont ce que l'on appelle les *horizontales du terrain*.

Pour simplifier l'explication, on a supposé que l'on pouvait, d'une seule station du niveau, apercevoir et déterminer tous les points $n, n; n', n'; n'', n''$, etc. ; c'est, en effet, dans la pratique, le cas le plus ordinaire. Les terrains en cultures sont généralement peu accidentés et complètement découverts, et l'on peut presque toujours, avec un niveau à bulle et à lunette, niveler d'une seule station une pièce de 5 ou 6 hectares.

Le déplacement du niveau, s'il était nécessaire, ne serait pas, du reste, une difficulté pour les personnes qui se sont rendu compte des opérations de nivellement. Il est clair que, s'il fallait déplacer le niveau soit pour passer d'un point d'une courbe horizontale à un autre point de la même courbe, soit pour passer d'une série de points de niveau à la série suivante, inférieure ou supérieure, il suffirait de faire rester le porte-mire au dernier point déterminé, de déplacer le niveau, de ramener le voyant dans la nouvelle ligne de visée, de le fixer solidement dans sa nouvelle position, et de continuer à opérer comme on l'aurait fait sans le déplacement de l'instrument et sans celui du voyant.

Levé. — Quand on a placé, en procédant comme on vient de l'indiquer, les séries de jalons $n, n; n', n'; n'', n''$, il ne reste plus, pour rapporter à la fois le plan et le nivellement sur le papier, qu'à chaîner sur la ligne 1, 1 les distances $1 n, nn', n', n'', n'', n'''' 1$; sur la ligne 2, 2, les distances $2 n, nn', \dots, n'''' 2$, et ainsi de suite. On inscrit toutes ces distances sur une feuille de papier réglée d'avance, pour représenter la position des lignes d'opération, ou même sur une feuille de papier quadrillé, pour que le plan se trouve immédiatement à l'échelle, et l'on a évidemment toutes les données nécessaires pour déterminer à la fois les points principaux du périmètre de la pièce et



le tracé des horizontales du terrain. Il suffit, en effet, de reporter au bureau, sur le papier, les distances mesurées, et de joindre les points ainsi obtenus par des lignes.

2^o Méthode des carrés pour le tracé des horizontales.

— C'est, avons-nous dit, la méthode employée le plus généralement, c'est la plus pratique et celle qui fournit, somme toute, les meilleurs résultats, quoique le quadrillage puisse laisser échapper des points remarquables dans l'intérieur des carrés. Mais on peut rapprocher plus ou moins les parallèles suivant la conformation du terrain.

Nous ne croyons pas pouvoir mieux décrire cette méthode qu'en reproduisant intégralement la description qu'en a donnée M. Provost, ingénieur adjoint du Service des Améliorations agricoles dans l'intéressante notice qu'il a publiée sous le titre : *Renseignements pratiques sur le drainage* (1).

Pour établir le plan de drainage d'un terrain, il est nécessaire d'en dresser un *plan coté*.

Pour cela, on prend l'altitude d'un certain nombre de points de ce terrain à l'aide desquels on trace par interpolation les courbes d'égal niveau.

L'opération se divise en deux parties :

a. Relevé du plan et des altitudes ; b. tracé des courbes d'égal niveau.

a. RELEVÉ DU PLAN ET DES ALTITUDES. — En général, on prend l'altitude de points situés à toutes les intersections d'un quadrillage de 50 mètres de côté. Ce chiffre de 50 mètres, qu'on pourrait remplacer par 100 mètres au cas où le relief du sol serait excessivement régulier, doit être abaissé à 25 mètres dans les deux cas suivants :

1^o Le terrain ne présente qu'une très faible pente générale. En effet, il est absolument nécessaire, dans ce cas, de connaître les moindres mouvements du sol pour pouvoir en profiter ;

2^o Le terrain a une très forte pente générale. Le nivellement de points plus rapprochés permet de mieux se rendre compte des changements de pente du sol, qui peuvent influer sur le diamètre des collecteurs, l'ouverture des fossés de colature, etc.

Acceptons le chiffre de 50 mètres, adopté d'une façon générale, et voyons comment on procède.

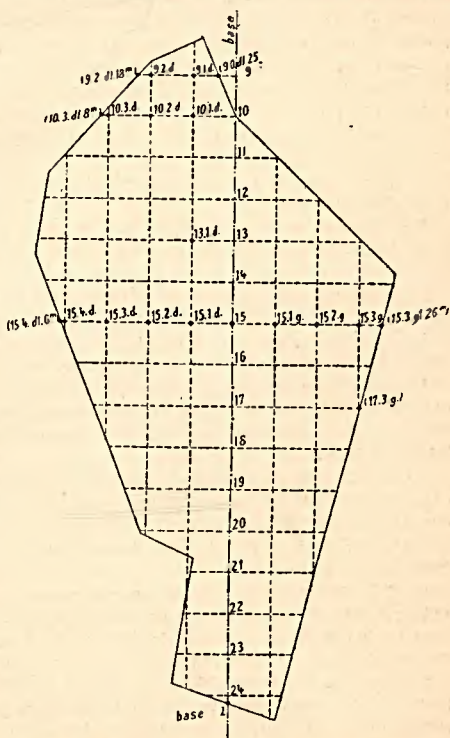
1^o *Exécution du quadrillage.* — Soit le terrain représenté par la figure 110. On commence par tracer, à l'aide de jalons, un alignement *dans le sens de la plus grande longueur du terrain*. On chaîne soigneusement sur cet alignement, que nous appellerons la *base* des distances, de 50 en 50 mètres à partir d'un des points de rencontre de la base avec le contour du terrain.

(1) Renseignements pratiques sur l'exécution des travaux de drainage (*Annales de la Direction de l'Hydraulique et des Améliorations agricoles*, fasc. XXXI. 1904).

On indique les points de 50 en 50 mètres par une jalonnette. On numérote le premier point 10, et les autres 11, 12, 13, etc., le dernier portant la dénomination de *base l* (base limite). Ces appellations sont inscrites sur le papier de la jalonnette extérieurement et intérieurement, la pluie pouvant faire disparaître l'inscription extérieure, ou mieux encore sur un blanc fait au couteau au milieu de la jalonnette, les bestiaux enlevant souvent les papiers. Puis, en chacun de ces points de la base on élève une perpendiculaire. Cette perpendiculaire peut être élevée à l'équerre d'arpenteur si sa longueur ne dépasse pas 250 à 300 mètres. Dans le cas contraire, elle doit l'être au goniomètre.

Ces perpendiculaires ont leur direction tracée par la jalonnette de base et par une jalonnette plus grande que les autres, avec deux papiers, afin qu'on ne les confonde pas avec les autres.

Puis, sur chacun de ces alignements perpendiculaires ou profils ainsi tracés, on chaîne, à partir de la base et des deux côtés, des longueurs indiquées par des jalonnettes que l'on désigne par des inscriptions sur un papier ou sur un blanc. La jalonnette placée à 50 mètres à droite du point 13 de la base sera spécifiée, par exemple, 13, 1. d. (13,50 mètres à droite). Celle placée à 150 mètres du point 17 de la base et à gauche sera la jalonnette 17. 3. g., c'est-à-dire 17, 150 mètres à gauche.



Quand on arrive à la limite du terrain, le numéro est remplacé par la lettre *l* (limite), et on inscrit à côté le numéro de la jalonnnette précédente, ainsi que la distance à cette jalonnnette. Ainsi, la jalonnnette placée à la limite du champ sur le profil 15 à droite et à 6 mètres de la quatrième de ce profil, à partir de la base, sera marquée ainsi : 15. 4. *dl* (6 mètres).

Dans le cas où il y a *décrochement*, c'est-à-dire quand le premier profil 10 de la base passe à plus de 50 mètres de l'extrémité du champ, on continue les chainages de 50 mètres du côté de cette extrémité en prenant pour base la ligne formée par les jalonnnettes situées à 50 mètres de la base, puis par celles situées à 100 mètres, etc. Les jalonnnettes ainsi placées prennent les noms qu'elles auraient si la base était continuée par les numéros 9, 8, 7, etc., en observant la même règle précédente pour les jalonnnettes limites. L'opération achevée, il se trouve qu'il y a sur chaque point d'un quadrillage de 50 mètres une jalonnnette portant une inscription qui lui est particulière.

La vérification du chainage se fait de la manière suivante : on regarde les jalonnnettes dans un sens parallèle à la base, puis à 45° avec la base ; il doit toujours y avoir alignement parfait.

Une erreur que l'on commet souvent consiste à chaîner 40 ou 60 mètres sur la base au lieu de 50. Pour l'éviter, en revenant au point de départ, on mesure au pas la distance entre toutes les jalonnnettes de base pour voir si l'on ne s'est pas trompé de 10 mètres.

Il importe également de bien vérifier les numéros des jalonnnettes, car on peut en avoir sauté une, par exemple, ou porté deux fois la même. Cette vérification se fait en parcourant les alignements parallèlement à la base.

Ce quadrillage fait, rien de plus simple que de lever le plan ; le contour se lève en prenant simplement les inscriptions inscrites sur les jalonnnettes limites. Les détails (fossés, par exemple) sont repérés par rapport aux jalonnnettes les plus proches, et cela très facilement.

2° *Nivellement*. — On commence par planter près de toutes les jalonnnettes un piquet dont la tête vient affleurer au niveau du sol réel, sans tenir compte des accidents de terrain, comme un sillon un fossé. On en dégage la tête en foulant la terre avec le pied tout autour, afin que, lorsqu'on y posera la mire, elle repose sur le piquet et non sur la terre. Ces piquets doivent être assez longs pour qu'il soit difficile de les arracher ; leur longueur dépendra donc de la ténacité du sol. Sur chacun des piquets, on plante un clou à sabot à tête ronde, sur lequel on posera la mire ultérieurement.

3° *Nivellement de la base*. — Ceci fait, on nivelle la base en long par un nivellement très précis qui doit se refermer avec une faible erreur ne dépassant pas 1 centimètre au kilomètre. Ce nivellement s'effectue de la façon indiquée sur la figure 116 en visant à chaque station deux points de la base (les stations sont marquées par des croix). On peut opérer avec d'autant plus de précision qu'il est facile de se placer à

chaque station à peu près rigoureusement à égale distance des deux points à niveler, et ce en se mettant en face du point qui est entre les deux.

On connaît ainsi l'altitude précise des points qui serviront de départ.

Rappelons qu'un tel nivellement se fait après un réglage grossier du niveau fait une fois pour toutes en calant *grosso modo* le niveau à chaque station et en faisant deux lectures sur chaque point, la première après avoir amené la bulle exactement entre ses repères avec la vis de fin calage, la seconde après avoir retourné la nivelle bout pour bout, la lunette de 180° autour de son axe géométrique et avoir encore

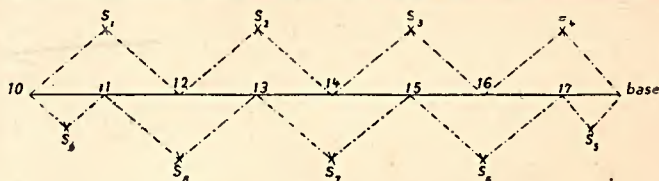


Fig. 116. — Nivellement de la base.

ramené la bulle entre ses repères avec la vis de fin calage. La moyenne de ces deux lectures donne la lecture exacte (niveau à bulle indépendante).

4° *Nivellement des points du quadrillage.* — On se place en station à un endroit du terrain d'où l'on puisse apercevoir avec la lunette la mire placée sur un des piquets de base. Puis on règle complètement le niveau, le plus parfaitement possible, et, partant du piquet de base, on fait placer la mire sur autant de points du quadrillage que l'on peut en apercevoir, en faisant suivre toutefois au porte-mire une marche régulière de façon à pouvoir se rendre compte des points où il s'arrête et contrôler les inscriptions qu'il lit sur la jalonnette et crie de manière à être entendu du niveleur.

Il est nécessaire de régler parfaitement le niveau, car, s'il fallait à chaque point se servir deux fois de la vis de fin calage, il en résulterait une perte de temps bien supérieure à celui qu'on a mis pour exécuter ce réglage parfait. On reconnaît que le réglage est bon quand, en faisant tourner le niveau autour de son axe, la bulle ne varie pas de plus d'une division.

L'inscription se fait de la manière suivante. On vient de lire le point 13. 1. g. par exemple et on passe au point 13. 2. g. Le coup avant qu'on a pris sur 13. 1. g. devient un coup arrière. De même le coup avant qu'on va prendre sur 13. 2. g. devient un coup arrière pour le nivellement du point suivant. En un mot, chaque lecture avant devient une lecture arrière pour le point suivant.

Cette façon d'inscrire, outre qu'elle est analogue à l'inscription du nivellement en long, présente l'avantage d'une vérification facile des calculs assez compliqués que l'on est obligé de faire pour passer des lectures faites aux altitudes. Dans les colonnes des carnets, si l'on a soin de reporter comme coup arrière le coup avant que l'on a pris sur

le piquet de base, la somme des coups arrière doit être égale à celle des coups avant. La somme des différences en plus est égale à celle des différences en moins.

Enfin on doit retrouver à la fin, comme altitude du piquet de base, la même altitude que celle dont on est parti.

De plus, on peut se rendre compte facilement que, si l'on avait fait une erreur de lecture de 0^m,20, par exemple, sur un point, cette erreur n'entacherait que ce point et ne porterait pas sur les autres, car tout se passe comme si l'on prenait les différences d'altitude avec le piquet de base.

Si, pour un certain nombre de points, il est impossible de partir d'un piquet de base, on part d'un piquet quelconque déjà pris et qu'on reprend très soigneusement une fois encore.

Pour éviter toute erreur dans un ensemble de points pris d'une même station, provenant d'une lecture fausse sur le point de départ initial, que ce soit un piquet de base ou un autre, il est nécessaire absolument de prendre de cette station des points déjà pris dans d'autres stations. On marque ces points d'une croix, et on compare leur altitude calculée de nouveau avec l'altitude trouvée dans les autres stations. La différence doit toujours être faible et ne pas dépasser 1 centimètre.

Toutes ces précautions excessivement simples et ne prenant aucun temps, pour ainsi dire, permettent de faire un nivellement juste et rapide. Elles sont absolument nécessaires pour donner des points dont les altitudes soient bonnes. Elles laissent à l'opérateur toute sa lucidité d'esprit, car il est certain que, si une erreur venait à se glisser dans son nivellement, il s'en apercevrait et, confiant dans cette sécurité, il peut dès lors opérer plus rapidement.

b. TRACÉ DES COURBES D'ÉGAL NIVEAU. — Étant donnés deux points *a* et *b* du quadrillage et portant, par exemple, les cotes 50,612 et 51,210, on voit qu'entre les deux passe un plan d'altitude 51,000. Ce plan est à 0,210 au-dessous du second et à 51,000 — 50,612 = 0,388 au-dessus du premier. On suppose le terrain de pente uniforme entre les deux points *a* et *b*, et on partage leur distance *ab* = 50 mètres proportionnellement aux nombres 0,210 et 0,388.

Ce partage se fait géométriquement en négligeant les millimètres. On obtient ainsi un point de cote 51,000. On calcule tous les points possibles à la cote de 51,000, de la même façon, et on les réunit par une ligne qui est la courbe 51,000.

On peut écrire (fig. 112) :

$$\begin{aligned} \frac{bc}{ac} &= \frac{51,210 - 51}{51 - 50,612} = \frac{0,210}{0,388}, \\ \frac{ac + bc}{bc} &= \frac{0,388 + 0,210}{0,210}, \\ \frac{bc}{50} &= \frac{0,210}{0,590}, \end{aligned}$$

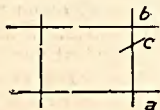


Fig. 117. — Tracé des courbes de niveau.

d'où

$$bc = 17^m,55$$

et

$$ac = 32^m,45.$$

On trace de même les autres courbes soit de mètre en mètre, soit de 50 centimètres en 50 centimètres et même de 25 centimètres en 25 centimètres, s'il est nécessaire, pour donner une idée exacte du relief du sol.

3^e Méthode des profils pour le tracé des horizontales.

— Cette méthode, nous l'avons dit, est moins exacte et moins employée que la précédente. Mais elle enseigne à construire les *profils* des différentes lignes tracées sur le terrain. Or il est non seulement nécessaire, pour se rendre bien compte de l'allure de la surface du sol, de tracer de place en place les profils de lignes déterminées, celui de la ligne de base du quadrillage et ceux de ses perpendiculaires, mais encore il faut construire les profils des collecteurs et de l'émissaire. Nous devons donc décrire ses procédés en recommandant de ne les appliquer qu'à la détermination des profils du sol qui correspondent aux lignes importantes. Rappelons d'abord que l'on appelle *profil* d'un terrain la figure géométrique qui représente la section de la surface de ce terrain par un plan vertical mené suivant une ligne donnée, tracée sur le sol. Pour lever un profil, on place d'abord, sur la ligne ordinairement droite ou brisée qui le détermine, des piquets à tous les changements de pente du sol ; on cherche la hauteur de ces points par le nivellement et leurs distances horizontales par le chaînage. Pour rapporter le profil, on trace sa projection horizontale sur le plan, avec tous ses points et leurs cotes, inscrites à côté, puis, en marge du plan, on construit sa projection verticale en développant, sur une droite, la projection horizontale avec tous les points cotés ; en chacun de ces points, on élève à la droite des perpendiculaires respectivement égales aux cotes inscrites, et l'on joint leurs extrémités par une ligne continue, qui est la projection verticale du profil.

C'est ainsi qu'on a procédé pour les profils de la figure 118 : par exemple, pour le profil *bic*, projeté verticalement en B, 1, C.

Pour mieux accentuer les pentes, l'échelle des hauteurs des profils est ordinairement beaucoup plus grande que celle des bases.

L'application de la méthode des profils est résumée dans la figure 118, sur laquelle on n'a indiqué que quelques profils caractéristiques pour éviter la confusion.

Soit *gkh* l'un de ces profils, projeté verticalement en GKH ; pour déterminer des points de courbes de niveau à l'aide de ce profil, on mène des parallèles à 18, 20, 22, 24 mètres du plan de comparaison, à l'échelle adoptée ; l'intersection de ces droites avec le profil donne les points 18 à 24, que l'on ramène par des perpendiculaires sur *gkh* et qui donnent les points des courbes à ces cotes 18, 20... D'autres profils, convenablement choisis, détermineront, par le même procédé, d'autres points à cotes rondes ; c'est ainsi que sur le profil *af* on a les points 14, 16, 18 ; sur *bc*, on trouve un point de la courbe 28.



Il convient de remarquer que, par cette méthode graphique, on n'obtient des points suffisamment exacts que si les profils sont notablement inclinés sur les horizontales ; autrement les intersections avec celles-ci sont trop incertaines et le passage précis des courbes sur les

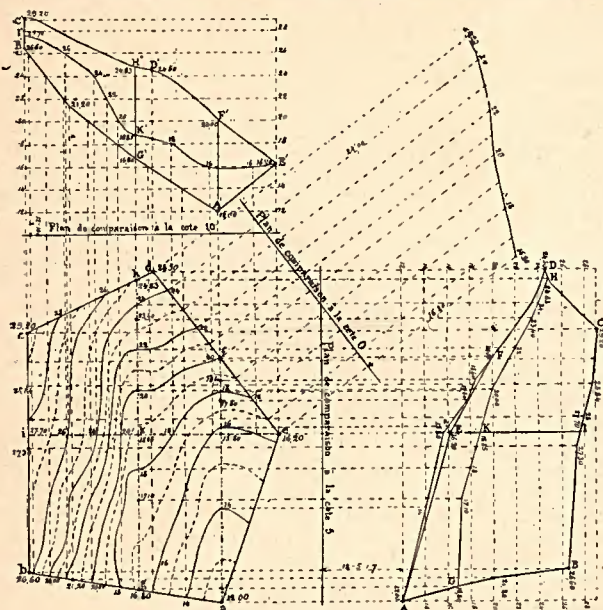


Fig. 118. — Méthode des profils. — Échelle du plan : 1/10 000 (0,001 par 10 mètres). — Échelle des hauteurs : 0,0015 par mètre. (Epure communiquée par M. Muret, professeur à l'Institut agronomique.)

profils ne se déduira que d'un calcul de proportion, comme dans la méthode des carrés.

En général, la direction des profils doit être perpendiculaire aux courbes ; ainsi, dans la partie du terrain comprise à droite de gh , ils seront parallèles à gh , tandis qu'ils lui seraient perpendiculaires pour la partie de gauche ; ces derniers se projettent suivant les lettres accentuées.

Pour un profil isolé comme de , il est inutile de tracer des parallèles au plan de comparaison, telles que 16, 18, 20...

Enfin la question intéressante de *déterminer un profil suivant une droite donnée* ei est résolue par la ligne $E'I'$, que l'on obtient en pro-



jetant toutes les sections 16, 18, 20,... des courbes sur une parallèle à *ei* et en donnant aux ordonnées des hauteurs proportionnelles à ses cotes.

C. Tracés des lignes de plus grande pente et des thalwegs.

— La figure 109 montre en *nn*, *n'n'*, *n''n''*,..., une suite d'horizontales dont les plans sont équidistants. En pratique, cette équidistance des plans, qu'on appelle *équidistance des courbes*, est d'autant plus grande que le terrain est plus incliné; elle sera, par exemple, de 1 mètre, 0^m,50, 0^m,25.

Plus les courbes de niveau sont rapprochées sur le plan, plus forte est la pente du sol, et inversement. Leur convexité, tournée vers l'aval, indique une forme saillante, bombée, sur laquelle la réunion des points les plus élevés donne une *ligne de faite* ou de *partage des eaux* tournée vers l'amont, elle indique une forme creuse dont les points bas déterminent une *ligne de réunion des eaux* ou *thalweg*. Le profil *af*, sur la figure 118, est tracé à peu près dans un thalweg.

Quand on va perpendiculairement d'une courbe de niveau à une autre, on détermine une *ligne de plus grande pente*: c'est le chemin que suivrait une goutte d'eau, descendant librement; le profil *ik* suit à peu près une ligne de plus grande pente (fig. 118).

D. Conservation des points du levé et du projet sur le terrain. — Le levé du plan et des courbes nécessite le choix de beaucoup de points; or, il y a grand intérêt à conserver, par de solides piquets, sinon tous ces points, du moins les principaux, pour faciliter ultérieurement l'application, sur place, du projet étudié au cabinet. On les marque sur les blancs des piquets. Après l'achèvement des travaux, nous conseillons de consolider mieux encore plusieurs de ces points, convenablement choisis, et de les marquer spécialement sur le plan. On aura ainsi, en cas de recherches à faire plus tard, des repères qui permettront de retrouver facilement les détails souterrains.

2. — Étude expérimentale du sol au point de vue de la constitution physique. Sondages, Conditions météorologiques et hydrologiques.

Elle est toujours nécessaire. Elle fournit des renseignements précieux sur la nature des couches qui constituent le sous-sol, sur le voisinage des couches perméables, ou au contraire sur celui des couches qui le sont encore moins que la terre superficielle; sur la hauteur jusqu'à laquelle l'eau monte, etc. C'est grâce à elle que l'on peut déterminer la profondeur et l'écartement des drains. On poursuit cette étude

dans les conditions suivantes. On creuse aux points d'intersection des lignes espacées de 100 mètres, qui dessinent sur le terrain le quadrillage dont nous avons parlé, des trous dont la figure 119 donne la coupe et le plan. Ces trous ont 2 mètres de longueur, 0^m,50 de largeur et 1^m,50 de profondeur. Des marches de 0^m,50, étagées à l'une des faces, permettent d'y descendre. Ils représentent un cube de 1^m³,125. Pour chacun

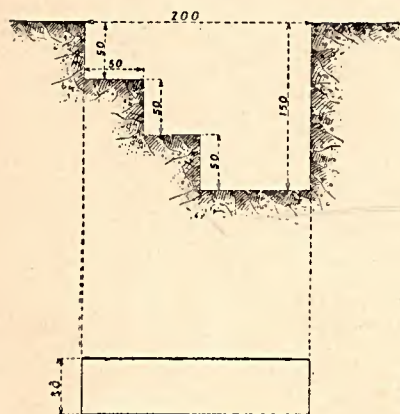


Fig. 119. — Trou de sondage.

d'eux, on note la nature et le degré de résistance à la pioche et le degré de perméabilité et l'épaisseur des couches successives que l'on rencontre, le temps que met l'eau d'égout des terres voisines pour y occuper un niveau invariable; la hauteur de l'eau dans ces trous. On marque sur la carte, d'un signe spécial, les endroits où ont été exécutés ces sondages. A côté

du même signe, reporté en marge de la carte, on figure la coupe du terrain avec ses particularités (Voy. p. 478, fig. 121). Indépendamment de ces trous, on pratique dans l'intérieur des carrés des sondages avec l'une des sondes représentées page 96 (fig. 8 à 17). C'est ainsi que l'on peut prélever, aux endroits intéressants, des échantillons de terre qui permettront de faire l'analyse physique du sol et de déterminer les différents facteurs qui influent sur le tracé du drainage. Nous nous sommes étendus déjà sur chacun d'eux (Voy. p. 46 à 90 et 439). Rappelons qu'il s'agit surtout du pouvoir d'absorption du sol, de sa capacité pour l'air, du nombre des diverses particules terreuses contenues dans l'unité de poids, etc.

C'est au cours de ces études préliminaires que l'on pourra

aussi creuser les trous qui fournissent sur le terrain le moyen de déterminer quel doit être l'écartement des drains (Voy. p. 439).

3. — Établissement du projet et du plan de drainage (1).

Il serait toujours bon d'établir le *projet* de drainage conformément aux indications données ci-après. Toutefois, la plupart des pièces qu'elles comportent ne sont pas indispensables, lorsque c'est le propriétaire lui-même qui exécute les travaux. Elles sont au contraire de rigueur quand c'est une entreprise et des ingénieurs qui assument la conduite de l'opération. La plupart du temps, le propriétaire qui établit un drainage peut se contenter d'en dresser le plan général, accompagné des divers profils intéressants.

Voici, d'après les *Instructions pratiques* publiées par le Service des Améliorations agricoles, les prescriptions relatives à la rédaction des projets complets.

Enumération des pièces d'un projet. — Dans le cas le plus général, les pièces écrites ou dessinées à produire à l'appui des projets comprennent :

- 1° Un mémoire explicatif ;
- 2° Un devis et cahier des charges ;
- 3° Un avant-métré ;
- 4° Un bordereau des prix accompagné de ses pièces justificatives ;
- 5° Un délai estimatif ;
- 6° Le plan de drainage proprement dit ou plan général ;
- 7° Un plan d'ensemble ou un extrait de carte ;
- 8° Des profils en long de l'émissaire et des collecteurs ;
- 9° Des profils en travers de l'émissaire ;
- 10° Des dessins ou croquis des ouvrages d'art.

Dans le cas de travaux exécutés par une association syndicale, on joindra à ces pièces un dossier constitué conformément aux modèles arrêtés par la Commission de l'hydraulique agricole.

Un certain nombre des pièces précédentes pourront être supprimées dans le cas de travaux peu importants.

1° MÉMOIRE EXPLICATIF. — Le mémoire explicatif donne la description de l'état actuel des choses, indique les dispositions nouvelles adoptées et en justifie la proposition. Il doit, en particulier, contenir les indications suivantes :

1° Un historique sommaire de l'affaire rappelant l'objet du projet, son origine, les personnes qui en ont pris l'initiative, les personna-

(1) Instructions pratiques, Notice sur le drainage [*Annales de la Direction de l'Hydraulique et des Améliorations agricoles* (ministère de l'Agriculture), fasc. XXX, 1905], et Drainage et assainissement agricoles des terres, par L. FAURE (1903), Paris.

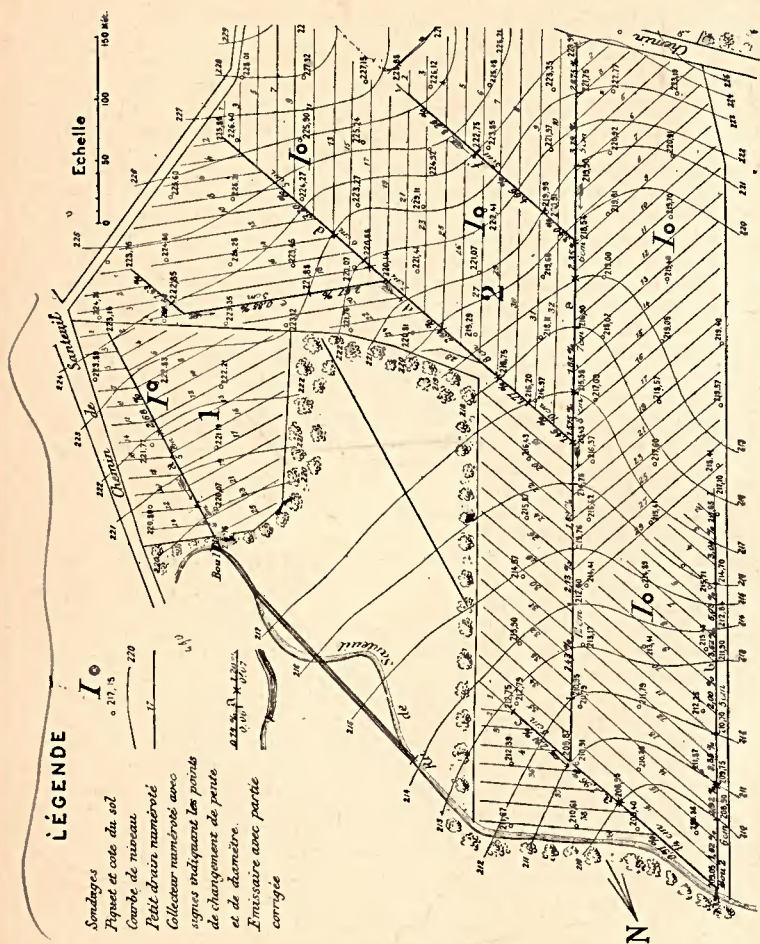


Fig. 120. — Partie réduite d'un plan de drainage exécuté par le Service des Améliorations agricoles, d'après une planche extraite des *Annales de la Direction de l'Hydraulique agricole*.

lités — simples particuliers ou associations syndicales — qui poursuivront l'exécution des travaux, etc. ;

2° Les diverses données relatives à la situation des surfaces intéressées, leur étendue, leur proximité des voies de communication, leur mode actuel de culture, etc. ;

3° La description rapide de l'aire qu'il s'agit d'améliorer, son relief, sa pente, ses émissaires naturels, la nature du sol et du sous-sol, les causes auxquelles on doit attribuer l'humidité du terrain, etc. On mentionnera, en particulier, les résultats des sondages en indiquant l'époque à laquelle ils ont eu lieu, ainsi que les variations du niveau de l'eau dans les trous et les quantités de pluie ou de neige tombées au cours de ces recherches ;

4° Les données hydrographiques et météorologiques, notamment le régime de l'émissaire et le volume d'eau qu'il s'agit d'évacuer par hectare et par seconde. La connaissance de cet élément permettra, en particulier, de fixer le diamètre des drains et les dimensions de l'émissaire ; il permettra aussi de voir s'il est ou non nécessaire d'augmenter l'ouverture des ponts et des aqueducs qui peuvent le traverser ;

5° La description générale sommaire des travaux à exécuter et les raisons qui ont conduit à adopter pour le projet les dispositions indiquées : par exemple, les raisons pour lesquelles on a donné aux systèmes telle ou telle étendue, celles qui ont déterminé la profondeur et l'écartement des petits drains, etc. ;

6° Le prix de revient de l'entreprise au mètre courant et à l'hectare, ainsi que la dépense totale à prévoir pour la surface intéressée, le bénéfice que donneront les travaux, et la rente annuelle qu'on estime devoir retirer du capital engagé.

2° **DEVIS ET CAHIER DES CHARGES.** — Ils contiendront, outre les indications générales sur l'objet de l'entreprise, les chapitres suivants :

1° La description des travaux à exécuter, tels que : la correction de l'émissaire (dimensions, pentes, largeur au plafond, etc.), l'installation du réseau de drainage (profondeur et distance adoptées pour les petits drains, profondeur des collecteurs, pente minima qu'on leur a donnée, façon dont on a traité les sources qui peuvent se trouver dans le périmètre à drainer, etc.), la construction des bouches, etc. ;

2° La provenance, la qualité et la préparation des matériaux. Ce chapitre a principalement trait aux tuyaux de divers ordres ;

3° Le mode d'exécution des travaux ordinaires et des ouvrages d'art ;

4° Le mode d'évaluation des ouvrages. On joindra à cette pièce le cahier des charges et conditions générales en usage dans l'exécution de travaux publics.

3° **AVANT-MÈTRE.** — L'avant-métré comprendra, dans le cas le plus général, les dispositions suivantes : correction de l'émissaire, exécution des tranchées et pose des tuyaux, fourniture et transport des drains, travaux d'art de diverses natures.



4° BORDEREAU DES PRIX. — Cette pièce n'offre, dans les travaux de drainage, rien de particulier.

5° DÉTAIL ESTIMATIF. — Il comprendra les huit titres suivants :

1° Étude du projet (étude au cabinet et sur le terrain ; établissement des pièces écrites ou dessinées ; frais de constitution de l'Association syndicale, etc.) ;

2° Acquisitions de terrains et indemnités diverses ;

3° Mise en état de l'émissaire (aérage, faucardement, gazonnement, rectification, etc.) ;

4° Exécution des tranchées et pose des tuyaux (ouverture des tranchées, disposition des tuyaux le long de la fouille, mise en place des drains, remplissage des tranchées) ;

5° Fourniture et transport des tuyaux ;

6° Travaux d'art (bouches, regards, chutes, etc.) ;

7° Tracé de conduite de l'entreprise (jalonnage et piquetage des tranchées, surveillance et direction des travaux) ;

8° Frais divers et somme à valoir (amortissement et usure des outils, établissement de bornes-repères, etc.).

6° PLAN DE DRAINAGE. — Lorsqu'il ne s'agit que d'une petite étendue de terrain, de pente convenable, l'agriculteur qui exécute lui-même le drainage peut à la rigueur se passer d'un plan, surtout s'il a quelque pratique de l'opération. Cependant il est toujours préférable d'avoir un plan du drainage, même dans ce cas. Le plan devient un document que les propriétaires doivent conserver avec soin pour y retrouver plus tard la place exacte des drains, afin de pouvoir remédier facilement à une obstruction. Lorsqu'il s'agit d'une surface importante, le plan est indispensable. C'est lui qui permet d'étudier le *projet de drainage*, de donner la meilleure position aux drains et aux collecteurs, d'en ménager le nombre, de retrouver facilement, lorsqu'il le faut, la position des uns et des autres, par exemple en cas d'obstruction ou de fonctionnement défectueux d'une partie du réseau de drainage (1).

7° PLAN D'ENSEMBLE. — Il n'est nécessaire que si la surface à drainer est très étendue ou qu'elle se compose d'un certain nombre de parcelles séparées qu'il est bon de réunir sur une même feuille pour déterminer leur position relative.

(1) Les *Instructions pratiques du Service des Améliorations* donnent des modèles de tableaux indiquant la disposition des calculs pour déterminer la longueur totale des drains et des collecteurs.

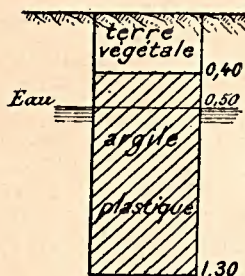


Fig. 121. -- Coupe du sol au voisinage d'un sondage.

Ce plan peut être à l'échelle de $\frac{1}{10\ 000}$, $\frac{1}{20\ 000}$, $\frac{1}{50\ 000}$, ou même, pour les grands projets, à une échelle plus petite. On utilisera pour l'établir les documents qu'on a sous la main : plans d'assemblage du cadastre, carte de l'état-major, etc.

La surface qui entre dans le projet est teintée en rose et entourée d'un fort liséré jaune. Les cours d'eau émissaires sont teintés en bleu et les limites du bassin versant sont indiquées par une ligne rouge ponctuée.

PLAN GÉNÉRAL. — Le plan général s'exécutera à une échelle variant entre $\frac{1}{1\ 000}$ et $\frac{1}{3\ 000}$.

Il renferme l'aire à drainer entourée d'un liséré jaune et accompagnée des surfaces avoisinantes. Il doit porter les cours d'eau servant d'émissaires, les fossés, les digues, les sources, les chemins de fer et les routes avec les travaux d'art tels que ponts et ponceaux, aqueducs. Les limites des propriétés particulières et des communes, les villages et les bâtiments, les divers modes de culture du sol (terres labourables, bois, prairies, etc.), les mines et les carrières doivent y figurer. Si, de plus, l'entreprise doit être exécutée par voie syndicale, les numéros des parcelles et les lieux dits doivent être inscrits à l'encre de Chine.

Les cotes d'altitude doivent, autant que possible, être rattachées au nivellement général du pays. Quand la chose est trop coûteuse, on rapportera les hauteurs à un point fixe choisi le plus près possible de la surface à drainer. On fera, de plus, entrer dans le nivellement autant de ces points qu'on le pourra. Ils seront désignés sur le plan par les initiales P. F. accompagnées de leur cote (exemple : P. F. = 39,75). Ces diverses cotes doivent être inscrites sur le plan, à moins toutefois que leur inscription, jointe aux numéros des parcelles cadastrales, ne fasse perdre à celui-ci de sa clarté. On les écrit à l'encre de Chine, et l'on s'en sert pour dessiner les courbes de niveau.

Celles-ci, tracées en lignes très fines, avec de l'encre ou de la sépia très pâle, seront prises à une distance les unes des autres variable avec l'inclinaison du sol. Pour de faibles pentes, elles représenteront une différence d'altitude de 0^m,20 ; pour des pentes fortes, des distances qui pourront aller jusqu'à 2 mètres, mais ne devront jamais dépasser ce chiffre.

Les emplacements des sondages doivent être marqués sur le plan par deux petits cercles rouges concentriques, numérotés en chiffres romains également rouges et qui seront les mêmes pour les sondages ayant donné des résultats identiques. Ces résultats seront représentés par de petits profils en couleur (fig. 120, 1^o, et 122) qu'on mettra dans un coin du plan ou, à défaut de place, sur les profils en long, ou des feuilles séparées. Dans ces profils, on indiquera le niveau de la nappe souterraine et la hauteur de chaque couche à laquelle on donnera une couleur spéciale suivant la nature du terrain qu'elle représente : argile, terre grasse, etc.

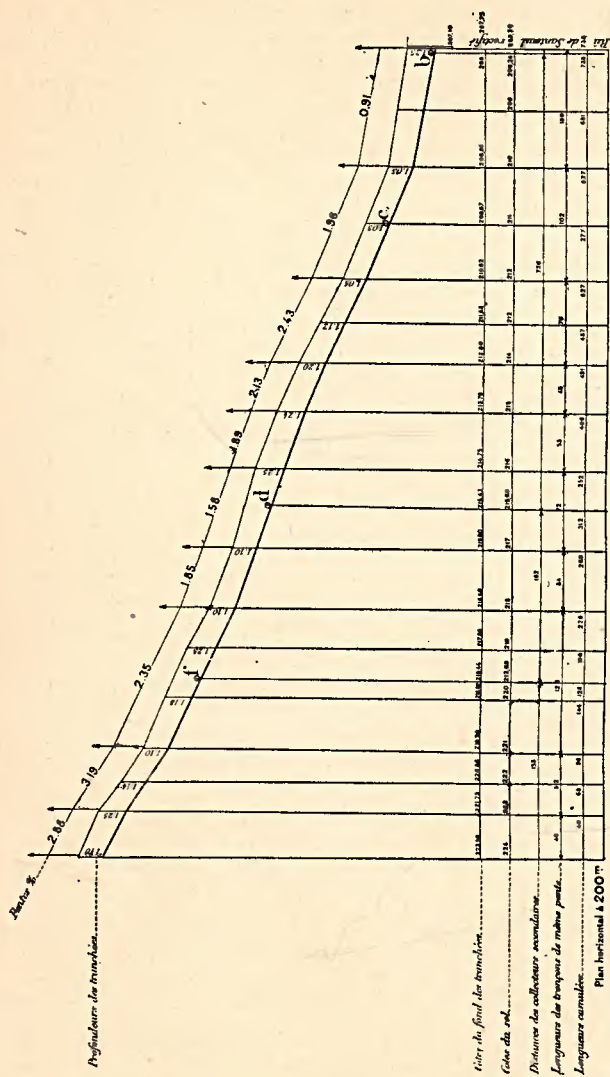


Fig. 122. — Profil en long du collecteur a système 2, du drainage représenté par la figure 120.

Les émissaires seront représentés par une étroite bande bleue, bordée de deux traits noirs dans les endroits auxquels on ne doit pas toucher, et de deux lignes rouges là où ils doivent être corrigés.

Le sens du courant est indiqué par des flèches bleues ; les ponceaux, ponts et aqueducs, par des lignes rouges transversales. Chaque émissaire est désigné par une lettre majuscule rouge.

Chaque système de drainage est marqué par un gros chiffre arabe écrit à l'encre bleue. Les collecteurs sont désignés par de petites lettres et les drains ordinaires par de petits chiffres arabes également bleus.

Les collecteurs sont représentés par de petites lignes bleues ; les points où ils passent d'une pente à une autre sont marqués d'une petite barre transversale rouge, et ceux où ils changent de diamètre, d'une petite croix bleue.

Partout où la

pente change, l'ordonnée du plafond doit être inscrite en chiffres rouges, la pente pour 100 également et le diamètre du tuyau en bleu.

Les bouches de ces collecteurs s'indiquent par une forte ligne rouge tirée dans leur prolongement et par la syllabe *bou* inscrite à l'encre rouge avec le numéro du système desservi.

Les drains ordinaires se représentent par des traits fins, dessinés à l'encre bleue. On inscrit entre eux leur distance, de temps en temps quand elle reste la même, et toutes les fois qu'elle varie. On inscrira également leur profondeur, quand elle différera de 1^m,25. Tout cela à l'encre bleue.

Enfin les regards et les puits absorbants s'indiqueront par de petits carrés à l'encre rouge.

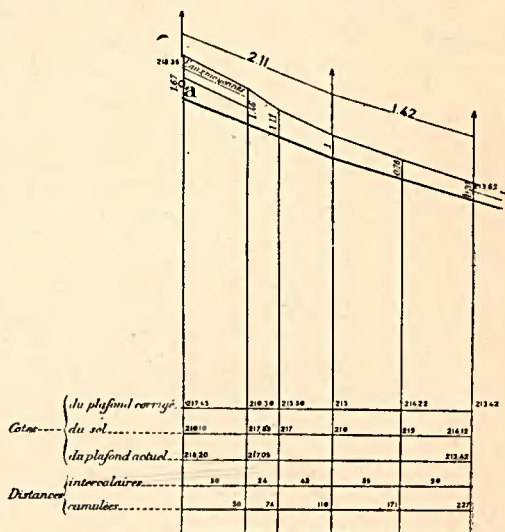


Fig. 123. — Correction de l'émissaire du drainage représenté par la figure 120.

La figure 119 représente un plan dessiné d'après ces indications.
 8° et 9° PROFILS EN LONG ET PROFILS EN TRAVERS. — Tout émissaire doit être représenté suivant un profil en long (fig. 123).

Ces profils contiendront, prises à chaque point remarquable ou à une distance moyenne d'environ 100 mètres, les ordonnées du plafond de l'émissaire actuel et du plafond de l'émissaire rectifié, les ordonnées des rives, celles du niveau des eaux moyennes et des hautes eaux. Ils contiendront encore la pente du plafond, les plafonds des ponts, ponceaux et aqueducs, ainsi que leur débouché et leur hauteur. On y

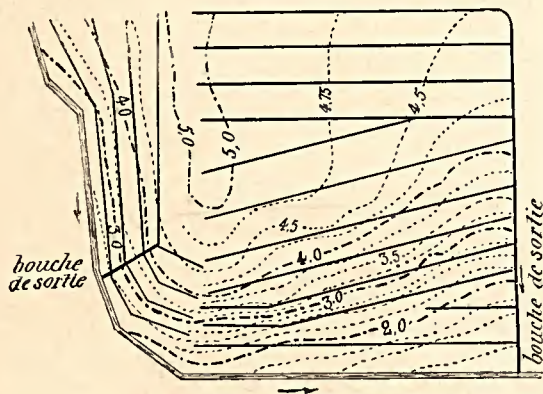


Fig. 124. — Drainage transversal et drainage longitudinal (Gerhardt).

représentera, en outre, les embouchures des autres fossés et les bouches des divers systèmes.

L'ancien plafond sera représenté en noir ; le nouveau en vermillon.

On représentera de même et de la même façon les profils en long des divers collecteurs (fig. 122). Les ordonnées seront menées ici à tout changement de pente, ou mieux encore à tout point de rencontre avec une courbe de niveau.

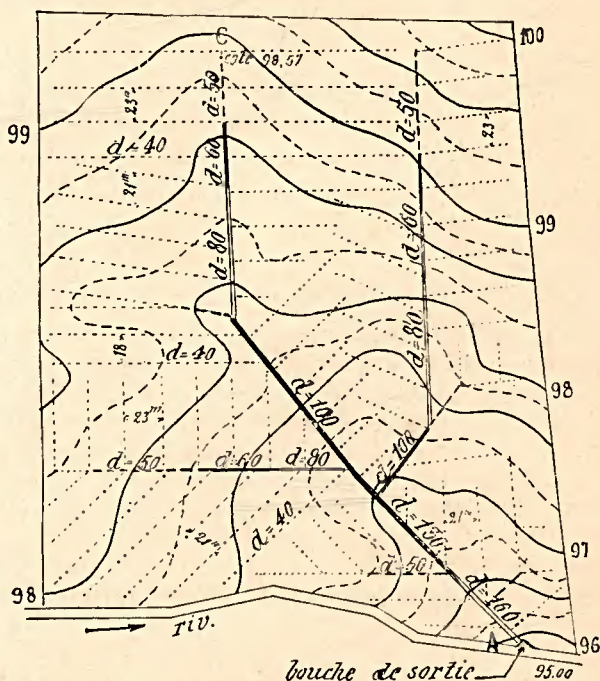
On donnera au moins un et, s'il le faut, plusieurs profils en travers de l'émissaire.

10° Les OUVRAGES D'ART seront représentés, s'il y a lieu, par des DESSINS ou des CROQUIS.

Les plans, profils, etc., devront en outre, pour tout ce qui n'est pas spécifié dans les instructions actuelles, être présentés dans les formes usitées pour les travaux publics.

4. — Observations sur la rédaction des projets et plans de drainage.

Il est impossible de reproduire toutes les dispositions des collecteurs et des drains que peuvent exiger les différentes



PLAN DE DRAINAGE

Fig. 125. — Drainage transversal (Gerhardt).

circonstances. L'ingénieur doit chercher à mener à bien l'opération, tout en réduisant le plus possible les dépenses. Il doit donc s'efforcer d'employer les tracés qui économisent les tranchées et les tuyaux. C'est là une question d'étude de sa part, de pratique et d'habileté.

La reproduction, annexée à ce volume, d'un assez grand nombre de bons plans de drainage pourrait utilement servir de

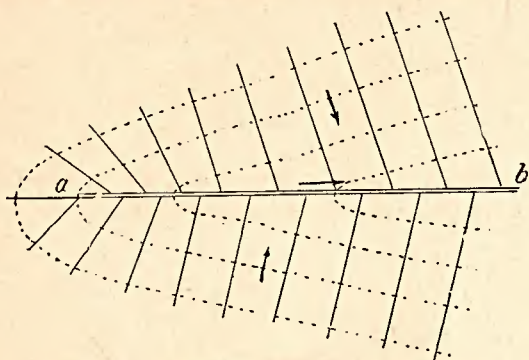


Fig. 126. — Drainage d'un terrain vallonné.

guide au lecteur. Malheureusement, le format de l'ouvrage et le peu de place dont nous disposons ne nous permettent pas

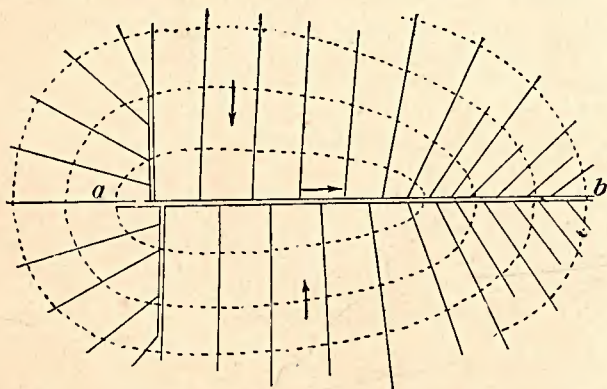


Fig. 127. — Drainage d'un terrain disposé en cuvette.

d'accompagner notre texte de nombreux exemples. Nous sommes obligés de nous borner à ne donner que les trois plans reproduits par les figures 120, 124 et 125 et les deux graphiques



précédents (fig. 126 et 127), qui représentent la solution de quelques cas particuliers.

Le plan de la figure 120, est accompagné, comme il est prescrit aux *Instructions du Service des Améliorations agricoles*, du profil en long d'un collecteur *a* (fig. 122) et de l'émissaire (fig. 123) avec la coupe du sol au voisinage d'un sondage (fig. 121).

5. — Piquetage du réseau de drainage ou tracé sur le terrain des collecteurs et des drains.

Lorsque le plan et le projet de drainage sont achevés, on passe à leur exécution sur le terrain. Ce travail est très simple en lui-même. Mais il exige beaucoup de soins et des ouvriers très exercés. Son succès dépend aussi en grande partie des contremaîtres et du surveillant des travaux. Aussi faut-il reconnaître que l'agriculteur ne peut guère drainer lui-même que de faibles surfaces. Pour de grandes étendues, il doit s'adresser aux spécialistes.

Le plan de drainage étant arrêté, le surveillant des travaux en reçoit un calque. La première opération qu'il doit faire, avant même l'arrivée des ouvriers, c'est le *jalonnage*, puis le *piquetage du réseau du drainage* sur le terrain. Il commence par indiquer le tracé des collecteurs et des drains par des jalons qu'il plante sur l'axe des uns et des autres, à leurs extrémités et aux points où ils changent de direction. Il en dispose quelques autres dans les intervalles laissés par les premiers, de manière à bien figurer les tracés. C'est le *jalonnage des travaux*.

Nous empruntons à M. Provost (1), ingénieur adjoint du Service des Améliorations agricoles, les détails pratiques qui suivent.

A. Tracé des collecteurs.— Le plan de drainage détermine par des coordonnées (c'est-à-dire par des distances mesu-

(1) Renseignements pratiques sur l'exécution des travaux de drainage, par M. Provost, ingénieur adjoint des Améliorations agricoles (*Annales de la Direction de l'Hydraulique agricole*, fasc. XXXI, 1905).



rées à la chaîne d'arpenteur) prises par rapport à des repères fixes (bornes, bord des chemins, des fossés, des routes, etc.) la position des collecteurs.

Dès lors, pour tracer un collecteur ACB (fig. 128), on plante une jalonnnette à chacune des extrémités A et B du collecteur, extrémités qui sont déterminées par leur distance Aa , Bb , à deux points déterminés a et b de la route qui passe à proximité. Entre ces deux jalonnnettes, on en aligne d'autres, de manière que deux jalonnnettes consécutives ne soient pas éloignées de plus de 50 mètres.

Pour planter ces jalonnnettes supplémentaires entre deux

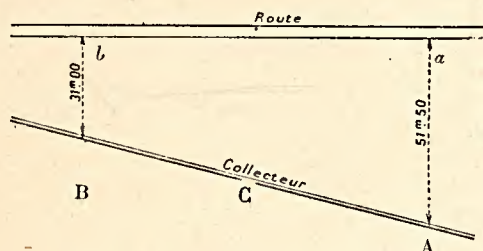


Fig. 128. — Tracé d'un collecteur.

jalonnnettes A et B, par exemple, déjà posées, le chef du chantier se place près de A et fait passer un rayon visuel tangent aux jalonnnettes de A et B. Un homme plante une troisième jalonnnette C à peu près sur la ligne AB ; le chef du chantier lui indique avec la main de quel côté il faut porter C afin qu'elle soit bien sur l'alignement AB. Lorsqu'elle y est parvenue, il fait signe à l'aide de l'enfoncer.

B. Tracé des drains. — Les drains se présentent sur le plan en groupes de parallèles. Dans chacun de ces groupes, l'un des drains est déterminé en position sur le plan comme un collecteur, c'est-à-dire par les distances mesurées de deux de ses points à des repères fixes. On trace donc ce premier drain comme on a tracé le collecteur de tout à l'heure.

En un point de ce drain, on élève une perpendiculaire PP'' , et, sur cette perpendiculaire, on place des jalonnnettes $a, b, c, \dots$



tous les l mètres (l = écartement des drains) ; plus loin, on élève une autre perpendiculaire $P_1P'_1$, et l'on pique des jalonnets $a_1, b_1, \dots$ espacés aussi de l . Les alignements tels que aa_1, bb_1 , déterminent les drains en direction ; on complète ces alignements par d'autres jalonnets, et on les arrête à la distance marquée sur ce plan.

Chacune des jalonnets, qu'elle marque un collecteur ou un drain, doit porter, inscrit sur un *blanc* tracé au couteau ou

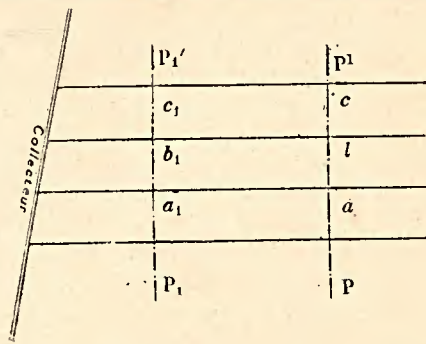


Fig. 129. — Tracés des drains.

sur une fiche de papier, un numéro d'ordre qui correspond à celui qui est porté sur le plan.

A chaque point de rencontre du collecteur et d'un drain, on place une jalonnette à double voyant.

C. Tracé de l'émissaire. — L'axe de l'émissaire se trace comme celui d'un collecteur.

6. — Transport et arrangement des tuyaux.

Dès que le piquetage des travaux est achevé, on transporte les tuyaux sur le terrain. On se sert d'une voiture, si le terrain le permet, ou d'une civière.

Le long des tracés, à 3 ou 4 mètres à gauche et à droite, tous les 10 mètres environ, on dispose des tas de trente à trente-cinq tuyaux. La tranchée une fois faite et dressée, les tuyaux de ces tas sont répartis le long et posés sur la terre extraite de n'importe quel côté.



7. — Exécution des tranchées.

L'exécution des tranchées comprend les trois opérations suivantes :

A. *Tracé de l'emprise* ;

B. *Fouille* ;

C. *Dressage du fond*.

Les tranchées (fig. 136) ne doivent naturellement donner lieu qu'aux plus petits mouvements de terre possibles. Il faut donc que leurs dimensions soient réduites au minimum. La profondeur et l'ouverture dépendent, la première, des conditions du drainage, la seconde, de la nature du sol, de la profondeur de la tranchée et de la dimension du tuyau. Du diamètre de ce dernier dépend uniquement la largeur au plafond. Celle-ci varie de 0^m,06 à 0^m,08 quand il s'agit de drains, de 0^m,10 à 0^m,25 lorsqu'il s'agit de collecteurs. Voici des chiffres qui se rapportent aux ouvertures de tranchées de diverses profondeurs :

Profondeurs.....	1 ^m ,80	1 ^m ,30	1 ^m ,50	2 ^m ,00
Ouvertures.....	0 ^m ,30	0 ^m ,40	0 ^m ,50	2 ^m ,65

Ces chiffres n'ont rien d'absolu ; ils doivent varier avec la nature du terrain. Les tranchées doivent être plus larges dans des sols sablonneux qui s'éboulent facilement. Les ouvriers ont toujours une tendance à dépasser ces limites. Il suffit cependant que la tranchée soit assez large pour qu'elle leur permette d'y entrer et d'y travailler à 0^m,60 ou 0^m,80 du fond.

L'ouverture des tranchées se fait toujours par la partie la plus basse du système de drainage, c'est-à-dire par la bouche, puis par le collecteur principal, en montant de l'aval vers l'amont, afin que les eaux qui proviennent soit des suintements, soit des pluies qui surviennent pendant l'exécution des travaux, puissent toujours facilement s'écouler.

A. Tracé de l'emprise. — L'emprise de la tranchée est déterminée par l'intersection de ses deux talus avec la surface du



sol. On la limite sur le terrain à l'aide de deux cordeaux espacés de la distance nécessaire de la ligne des jalonnets qui

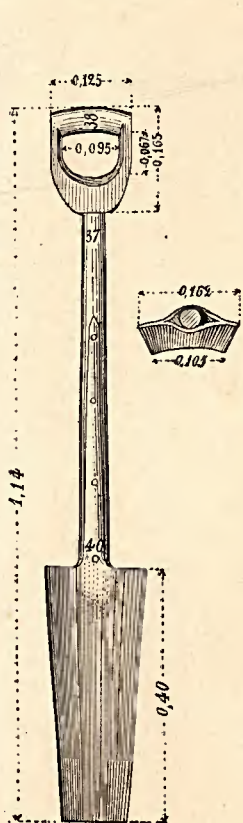


Fig. 130. — Bêche n° 1.

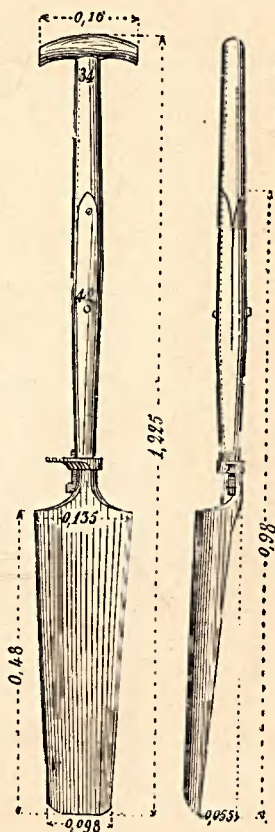


Fig. 131. — Bêche n° 2.

marque, comme nous l'avons expliqué, la direction des drains ou des collecteurs et qui représente, par conséquent, celle de l'axe de la tranchée. Les cordeaux épousent la surface du

sol ; à cet effet, ils sont maintenus par des pierres ou des morceaux de bois.

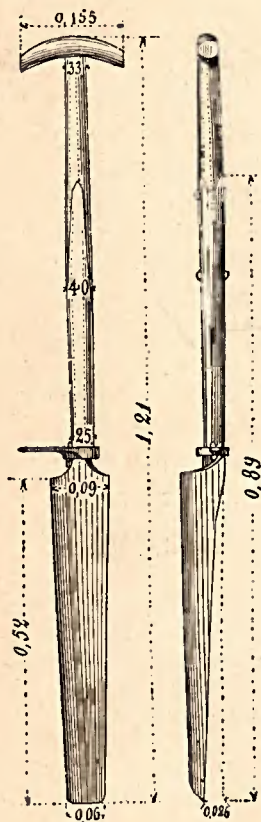


Fig. 132. — Bêche n° 3.

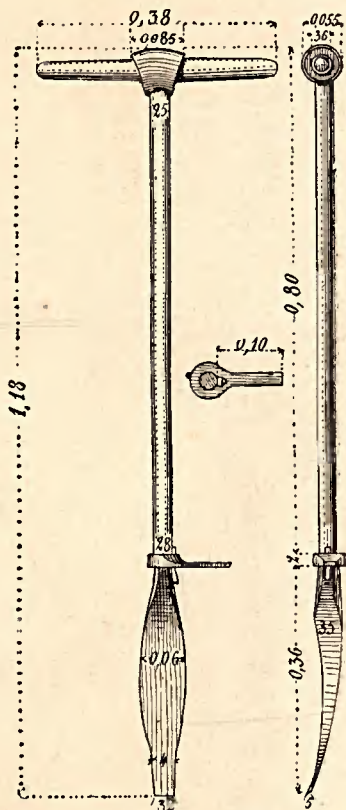


Fig. 133. — Pic à pédale.

B. Fouille des tranchées. — On emploie, pour creuser des tranchées, de fortes bêches munies d'une pédale, à droite ou à gauche, suivant l'ouvrier. Elles sont de dimensions variables.

Celles qui sont représentées par les figures 129 à 131 ont été préconisées par Hervé-Mangon (1).

Lorsque le sol est très dur, qu'il résiste à la bêche, on emploie un pic à pédale (fig. 133).

L'ouvrier le plus habile de l'équipe doit régulariser avec le plus grand soin, comme nous l'expliquons, le fond de la tranchée.

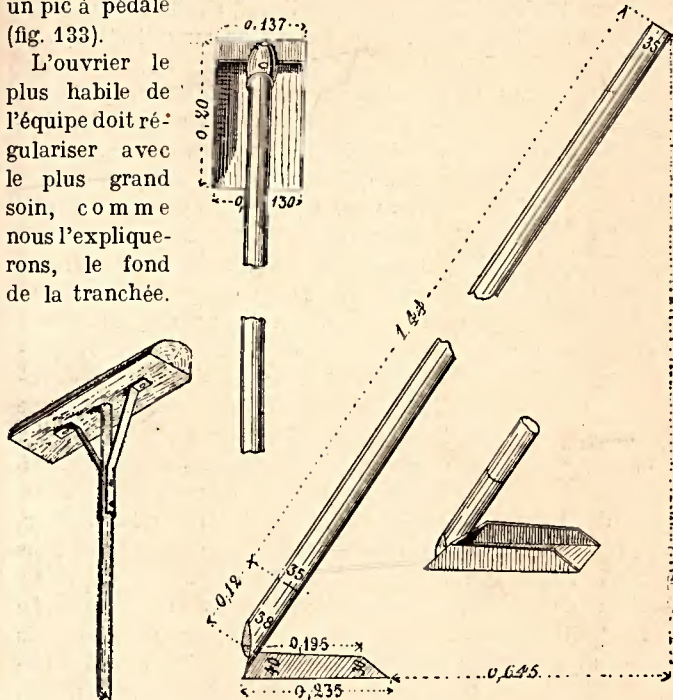


Fig. 134. — Dame. Fig. 135. — Drague plate pour le curage des fossés.

A cet effet, il emploie la *drague plate* (fig. 135) pour curer le fond des fossés et, pour le régulariser parfaitement, la *curette* (fig. 151, p. 505), dont le fer a un rayon de courbure égal au rayon extérieur des tuyaux. Grâce à cette disposition, le tuyau repose exactement sur le fond de la tranchée. Des *dames* permettent de pilonner ce dernier afin d'achever son « dressage » (fig. 134).

(1) HERVÉ-MANGON, Instructions pratiques sur le drainage, 1863.

On peut imaginer plusieurs manières de conduire le travail de l'ouverture des tranchées. Voici l'une de celles que l'on peut recommander.

Il faut toujours commencer par l'aval, c'est-à-dire pour les collecteurs à la bouche, pour les drains au collecteur, afin que l'eau puisse s'écouler.

Les ouvriers sont partagés en équipes de trois, quatre ou cinq hommes, suivant leur force, leur habileté et la résistance du terrain.

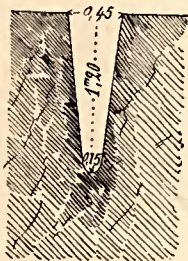


Fig. 136. — Profil d'une tranchée de drainage.

Dès qu'ils ont acquis la pratique de ce travail, il y a tout avantage à le leur faire exécuter à la tâche.

Supposons qu'il s'agisse de creuser une tranchée de 1^m,20 de profondeur dans un terrain de consistance moyenne et que l'équipe soit de trois hommes. Le premier ouvrier tracera d'abord la direction et la largeur de la tranchée sur une longueur de 25 mètres à l'aide de deux cordeaux et de piquets, qu'il placera à l'écartement voulu, de part et d'autre de l'axe de la tranchée, qui a été marqué par des jalonnnettes, comme nous l'avons précédemment dit. Puis, se plaçant dans l'emprise, face à l'aval (Provost), en trois coups de tranchant de la bêche n° 1 il découpe le gazon ; enfonçant ensuite la bêche à fond, il enlève en trois coups correspondant aux trois découpures précédentes une lame de terre d'environ 5 centimètres de largeur. Cette terre est placée à droite de la tranchée, en entendant par *droite* de la tranchée la *droite de l'écoulement de l'eau dans la tranchée*. Et l'on aura grand soin de jeter toujours du même côté la terre superficielle, de manière à ne pas la mélanger à la terre du fond. De cette façon, lorsque l'on comblera les fossés, il sera facile de replacer la terre végétale à la surface. C'est celle qu'on remettra en dernier lieu. Cette bonne terre est jetée à 0^m,30 environ de l'emprise, de manière qu'elle laisse un passage au poseur de tuyaux et un espace suffisant pour placer les piquets qui servent au règlement du fond de la tranchée.

L'ouvrier poursuit ce travail sur une longueur de 5 à 6 mètres seulement. Après l'avoir achevé, il régularise avec soin les faces latérales. Il nettoie le fond de la tranchée. Il rejette la terre provenant de ce nettoyage à gauche de la tranchée,

comme le seront dorénavant toutes les terres extraites, et ne laisse pas de chemin de ce côté.

La tranchée atteint alors environ 0^m,40 de profondeur.

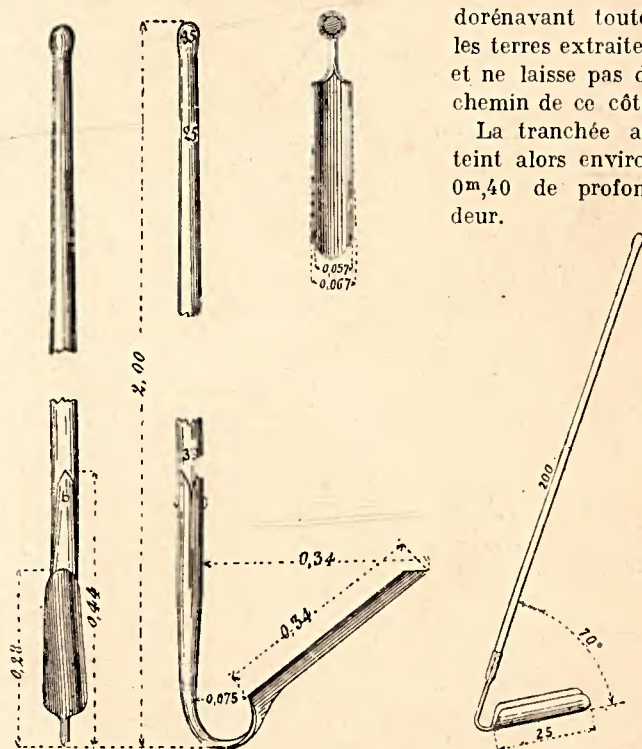


Fig. 137. — Drague de drainage. Fig. 138. — Drague de drainage.

Le second ouvrier donne un second fer de 0^m,40 avec la bêche n° 2 représentée par la figure 131 (p. 456). Elle est plus longue que la précédente, mais moins large. Le fossé approfondi, il en égalise le fond avec soin. Quand la terre se casse, s'égrène, on emploie avec avantage une drague plate (fig. 134).



Le troisième ouvrier achève le fossé en creusant les derniers 0^m,40 avec une bêche telle que celle qui est représentée par la figure 132 (p. 490). Elle est encore plus longue et plus étroite que les précédentes. L'ouvrier doit régulariser avec le plus grand soin le fond de la tranchée. A cet effet, il emploie une drague ou écope telle que celles qui sont représentées par les figures 137 et 138. Ces instruments, maniés avec quelque habileté, permettent de donner au fond de la tranchée toute la régularité désirable.

Dans les terrains de mauvaise consistance, qui s'éboulent, il faut soutenir les talus avec de fortes planches de bois maintenues par des étrépillons (fig. 139). Inutile de dire que ce boisage augmente de beaucoup la dépense. Lorsque le terrain n'est pas mauvais, on peut l'éviter en se hâtant de placer les tuyaux dans les fossés après qu'ils ont été ouverts.

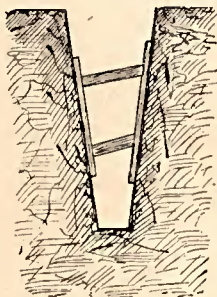


Fig. 139. — Section d'une tranchée dont les talus sont maintenus par des étrépillons.

C. Dressage du fond de la tranchée. — Cette opération consiste à disposer le fond de la tranchée de manière que les tuyaux y reposent exactement, à la profondeur voulue, et qu'ils reçoivent la pente convenable en chacune des sections de leur parcours.

Elle a donc une importance considérable et de son exécution peut dépendre le succès du drainage.

Le dressage du fond de la tranchée comprend :

- 1° Le calcul des profondeurs de la tranchée en chacun des points importants ;
- 2° Le dressage proprement dit ou réglage de la pente.

1° Calcul des profondeurs des tranchées. — Si la pente du terrain était constante, la profondeur d'une tranchée serait aussi constante et le fond serait parallèle à la surface du sol. Mais la pente n'est généralement pas régulière, et il en résulte que le fond de la tranchée, qui, lui, doit avoir une pente uniforme, se rapproche ou

s'éloigne de la surface du terrain chaque fois que l'inclinaison de celui-ci varie. Il est absolument nécessaire de connaître exactement la profondeur des tranchées en chacun des points, et particulièrement en chacun des *points importants*, où le terrain change brusquement de pente (points hauts et points bas).

Ce n'est qu'à cette condition que l'on pourra donner aux fonds des tranchées, et par conséquent aux tuyaux, la pente voulue.

Nous empruntons au mémoire déjà cité de M. Provost la méthode pratique qui suit pour calculer les profondeurs.

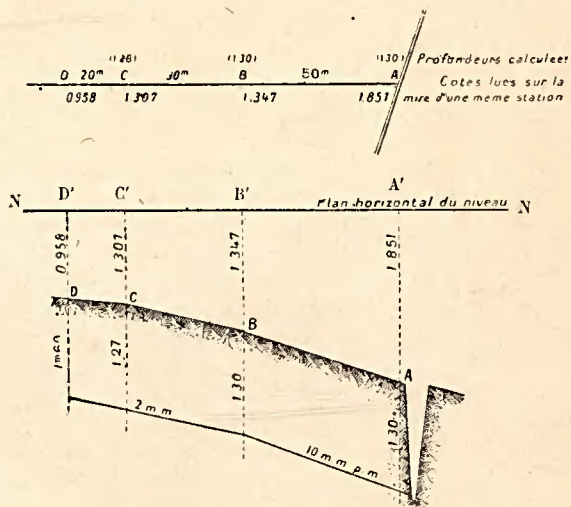


Fig. 140. — Section du terrain par un plan vertical passant par l'axe du fond de la tranchée; sur ce plan a été rabattue la section de la rigole qui est contenue dans un plan perpendiculaire à celui de la figure (d'après M. Provost, ingénieur adjoint des Améliorations agricoles).

On place sur le chemin ménagé à droite, tout près de la tranchée, tous les 50 mètres environ, si la pente du sol est uniforme, à chacun des points hauts et bas importants dans le cas contraire, un petit piquet de 0^m,30 environ, dont la tête est enfoncée à ras du sol, et, à côté de chaque piquet, une courte jalonnette de 50 centimètres environ, sur laquelle on a ménagé au couteau un blanc pour écrire.

Plaçant le niveau de façon à n'avoir, autant que possible, qu'une



Fig. 141. — Ouverture d'une tranchée de drainage.
(Photographie de M. Plaut, ingénieur agronome.)

seule station, on fait mettre la mire successivement sur la tête de chacun des piquets, et on inscrit la cote lue sur la mire en face de chaque piquet sur un croquis coté de la tranchée (fig. 140).

Ce croquis permet de dresser le profil en long du terrain suivant la tranchée et celui du fond de la tranchée elle-même. Rappelons que celui-ci doit être tracé de manière : 1° à n'avoir jamais de contre-pentes ni de pentes inférieures à 2^{mm},5 ou supérieures à 10 millimètres par mètre ; 2° à suivre le mieux possible le relief du sol de façon à garder une profondeur à peu près uniforme (1^m,30 ici), et en tout cas à ne jamais descendre au delà de 1^m,60 ni se rapprocher à moins de 0^m,90 de la surface du sol.

Les cotes lues sur la mire en partant d'une même station sont en :

$$\begin{array}{llll} A : 1^{\text{m}},851 ; & B : 1^{\text{m}},347 ; & C : 1^{\text{m}},307 ; & D : 0^{\text{m}},958 \\ AB = 50 \text{ mètres} ; & BC = 30 \text{ mètres} ; & CD = 20 \text{ mètres} . \end{array}$$

Soient 1^m,30 la profondeur moyenne de la tranchée ; 1^m,30 la profondeur au droit du piquet placé en A. Cherchons les profondeurs de la tranchée aux droits des piquets placés en B, C et D.

$$\text{Au point B: de A à B, la pente du sol est de } \frac{1^{\text{m}},851 - 1^{\text{m}},347}{50} =$$

10 millimètres par mètre environ. On peut accepter cette pente pour le drain et par conséquent tracer le fond de la tranchée parallèlement à la surface du sol ; la profondeur de la tranchée sera donc la même en B qu'en A, soit 1^m,30.

$$\text{Au point C de B en C, la pente du sol est de } \frac{1^{\text{m}},347 - 1^{\text{m}},307}{30} =$$

1^{mm},03 par mètre ; elle est insuffisante pour le drain, qui doit avoir au moins 2^{mm},5 de pente par mètre ; donc le fond de la tranchée ne peut être parallèle au sol superficiel, BC = 30 mètres ; comme la pente doit être de 2^{mm},5 par mètre, la distance verticale cC' de c au plan horizontal du niveau NN est égale à la distance bB' de b à ce plan diminué de 30^m × 2^{mm},5 = 75 millimètres. Or bB' = 1^m,30 + 1^m,347 = 2^m,647. Donc cC' = 2^m,647 - 0,075 = 2^m,572 et la profondeur du fond de la tranchée en C, cC = 2^m,572 - 1^m,307 = 1^m,265 ou 1^m,27.

On trouvera de même la profondeur dD de la tranchée en D. On maintiendra au fond de la tranchée la pente de 2^{mm},5 par mètre. Le point c étant de 1^m,307 + 1^m,245 = 2^m,572 au-dessous du plan horizontal de niveau, le point d ne devra plus être au-dessous de ce même plan que de 2,572 - 20^m × 2^{mm} = 2^m,532, donc dD = 2^m,532 - 0^m,958 = 1^m,574 ou 1^m,60 en chiffre rond, et ainsi de suite.

On inscrit chaque fois les profondeurs trouvées sur les plans des jalonnages.

2° Dressage proprement dit ou règlement de la pente. — Voici quelle est la méthode recommandée par M. Provost. On se sert pour cette opération de la bêche de drainage, des *nivelettes* et des *curettes*.



Les nivelettes sont des règles en bois supportant un voyant également en bois et rectangulaire. Un *jeu* (fig. 142) comprend trois nivelettes de hauteur exactement égale. Quelquefois, sur les trois, l'une (fig. 142 C) porte un voyant divisé horizontalement en deux parties, la supérieure rouge, l'inférieure blanche. La ligne de séparation de ces deux couleurs est alors à une hauteur exactement égale à la hauteur des autres nivelettes.

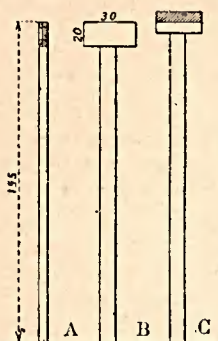


Fig. 142. — Nivelettes.

Le problème consiste à *rejoindre par un fond de tranchée de pente uniforme deux points qui doivent être à des profondeurs données*, profondeurs calculées comme précédemment et inscrites sur le blanc des jalonnets.

L'exemple suivant montre comment on procède :

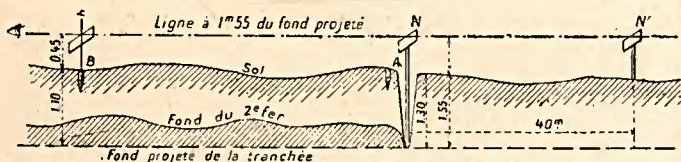


Fig. 143. — Règlement des pentes. — Section longitudinale d'une tranchée après le deuxième fer de bêche, la section transversale de la tranchée étant rabattue sur le plan de la figure.

Exemple du dressage d'un fond de tranchée. — Soient un piquet A (fig. 143), la jalonnnette correspondante portant 1^m,30, et un piquet B, la jalonnnette portant 1^m,10.

On creuse au droit de A la tranchée jusqu'à 1^m,30 exactement.

A l'aide d'une baguette *b* (fig. 144) reposant d'un côté sur la berge, de l'autre enfoncée dans le talus et rattachée par une corde à une nivelette N de 1^m,55 de long, par exemple, on fixe cette nivelette bien

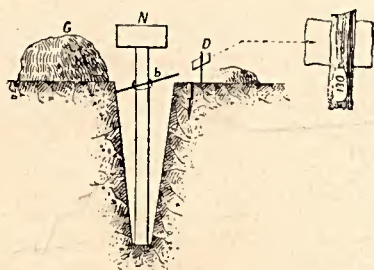


Fig. 144. — Règlement de la pente. — Section transversale de la tranchée.

verticalement, son extrémité reposant sur le sol, sans y enfoncer.

Menons par le dessus de N une ligne imaginaire parallèle au fond projeté de la tranchée (fig. 143). Cette ligne étant en A à $1^m,55$ du fond, y sera en B à $1^m,55$ également. La tête de B étant à $1^m,10$ de ce fond, la ligne passera à $1^m,55 - 1^m,10 = 0^m,45$ au-dessus de ce piquet.

Il s'agit de fixer matériellement cette ligne imaginaire. Pour cela, on place un petit bâton h bien verticalement sur la tête de B ; sur ce bâton, on place en croix une règle plate (un mètre, par exemple) bien horizontalement, de manière que le dessus de cette règle soit à $0^m,45$ de la tête de B ; il rencontre donc la ligne imaginaire qu'il faut déterminer. L'observateur fait passer un rayon visuel par le dessus de la règle et celui de N et, à 40 mètres environ de N, fait placer une seconde nivelette N', de façon que son dessus soit aussi sur ce rayon. Avec des mottes et des cailloux, N' est fixé solidement.

Le dessus de N et celui de N' fixent matériellement une ligne parallèle au fond projeté de la tranchée et à $1^m,55$ de ce fond.

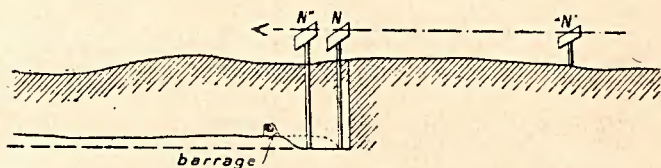


Fig. 145. — Règlement de la pente. — Section longitudinale de la tranchée.

Au lieu du dessus de N', on peut prendre la ligne de séparation du blanc et rouge, en employant alors la nivelette spéciale ; on obtient une visée plus nette.

Les nivelettes N et N' étant posées, l'ouvrier se place près de A (fig. 143), entre A et B, sur le fond du deuxième fer. Pour s'éviter de travailler dans l'eau, il barre avec quelques mottes la tranchée à 3 ou 4 mètres en amont (fig. 145).

Il donne alors, sur une longueur d'environ $1^m,50$, un troisième fer, en prenant bien soin de ne pas trop fouiller. Puis, avec la curette, il enlève la terre jusqu'au fond, en appuyant fortement pour lisser et durcir le fond de la tranchée sur lequel reposeront les tuyaux.

Tous les 50 centimètres environ, l'ouvrier, avec une nivelette N'' du même jeu que N et N' ($1^m,55$ de haut) placée bien verticalement sur le fond de la tranchée, vérifie si le dessus de cette nivelette est bien sur la ligne des dessus de N et N'. S'il est en dessus, il enlève de la terre ; s'il est en dessous, ce qui est à éviter le plus possible, il met au fond de la tranchée quelques petits cailloux et de la terre qu'il tasse fortement pour surélever ce fond et le mettre à hauteur.

Remarque. — Pour éviter l'emploi de la nivelette N'', certains manches de curettes portent un trait placé à $1^m,55$ de hauteur ; ce

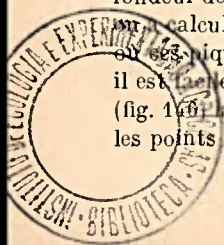
manche étant bien vertical, ce trait remplace pour la visée le dessus de N'.

L'ouvrier arrive ainsi en B. L'opération recommence alors. N est placée en B, N' en est rapprochée à 40 mètres, etc.

Dans la première édition de cet ouvrage, nous avons donné, pour le règlement des pentes, la méthode très simple que M. Risler a toujours employée avec succès dans les drainages qu'il a faits. C'est aussi celle qu'il a enseignée aux nombreux chefs draineurs qu'il a formés à Calèves. Elle est moins expéditive que la précédente et se recommande surtout pour les travaux de petite étendue, tels que ceux dont l'agriculteur peut se charger lui-même.

La première opération consiste toujours à calculer les profondeurs des tranchées. On y procède comme il a été précédemment indiqué, mais en réduisant de 50 à 30 mètres l'écartement des jalonnnettes qui marquent les points sur lesquels on fait ce calcul. On place d'ailleurs aussi ces jalonnnettes aux points importants (points hauts et points bas).

Puis, à côté de ces jalonnnettes, on enfonce à coups de maillet dans le sol, aux points de jonction des files de drains et des collecteurs, à tous les changements de direction et de pente, des *piquets* en bois de 0^m,50 de long. Ils constituent des points fixes invariables, qui serviront de guides pour creuser les tranchées et pour vérifier plus tard si elles ont bien la profondeur voulue dans toute leur étendue. Ils sont enfoncés à 0^m,40 environ de l'axe des fossés, de manière à ne pas gêner les ouvriers, et placés tous du côté où l'on rejettera le moins de terre, c'est-à-dire du côté droit. Afin de servir au règlement de la pente du fond des tranchées, leur tête doit dépasser la surface du sol d'une longueur telle qu'en chacun des points qu'ils occupent cette tête soit à une hauteur constante au-dessus du point correspondant du fond de la tranchée, hauteur égale à la profondeur de cette tranchée augmentée de 0^m,10 à 0^m,40. Comme on a calculé la profondeur de la tranchée en chacun des points où les piquets sont fixés et qu'ils ont tous la même longueur, il est facile de placer leurs têtes à la hauteur voulue. Soit MN (fig. 146) la section du terrain par un plan vertical passant par les points ABCD, le fond de la tranchée étant en A à 1 mètre



de profondeur, le piquet A émergeant de $0^m,25$, le piquet D n'émergera que de $0^m,45$ si la profondeur de la tranchée en ce point n'est plus que de $0^m,80$.

Supposons maintenant que l'on marque les deux piquets d'une encoche au couteau un peu au-dessous et à la même distance de leur tête et que l'on tende un cordeau entre ces deux encoches, ce cordeau sera parallèle au fond de la tranchée. Chacun de ces points en sera également distant ; on pourra donc vérifier facilement, à l'aide d'une règle, si le fossé a bien partout la profondeur nécessaire. Mais les deux piquets A et B distants de 30 mètres sont trop éloignés pour qu'ils suffisent à tendre convenablement le cordeau. On en dispose entre eux

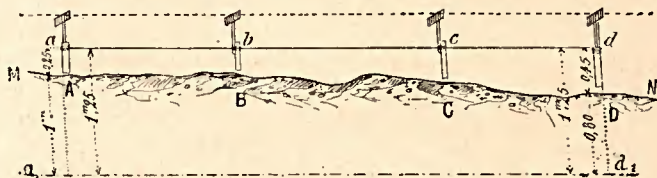


Fig. 146. — Règlement des pentes.

deux autres B et C éloignés de 10 mètres et placés sur l'alignement de A et de D. Et l'on trace sur les piquets B et C deux autres encoches *b* et *c* qui soient rigoureusement au même niveau que les encoches *a* et *d*.

On détermine la position de *b* et de *c* au moyen de trois *nivelettes*, rigoureusement de même longueur, telles que le modèle représenté par la figure 148 ; on les construit aisément soi-même en prenant trois lattes ou échelas de même longueur, faisant une fente à leur extrémité supérieure et y introduisant une bande de carton ou un bout de liteau en travers et à la même hauteur sur les trois nivelettes. Le contremaître en place une contre le piquet A, de façon que sa base affleure l'encoche *a*. Un des trois aides en place une deuxième contre le piquet D de la même manière, et un autre aide monte et descend la troisième nivelette le long du piquet B, jusqu'à ce que le contremaître lui fasse signe que sa base est en ligne droite avec *a* et *d*. Il fait alors une encoche avec son couteau à cette

place et détermine ainsi le point *b* et l'encoche correspondante. Il se transporte ensuite avec la nivelette au piquet planté en C. Il détermine le point *c* comme il vient de déterminer *b*, et il entaille, comme le précédent, le piquet C.

Il devient facile, grâce aux piquets B et C et de leurs encoches, de réunir les têtes *a* et *d* des piquets extrêmes par un cordeau suffisamment bien tendu.

Pour régler en chaque point la profondeur du fond de la tranchée, on peut se servir du petit appareil de mesure représenté par la figure 147. On dispose en croix et d'équerre deux baguettes de bois, liteau ou échalas, bien droites. On les fixe solidement l'une à l'autre. La baguette la plus longue a une lon-

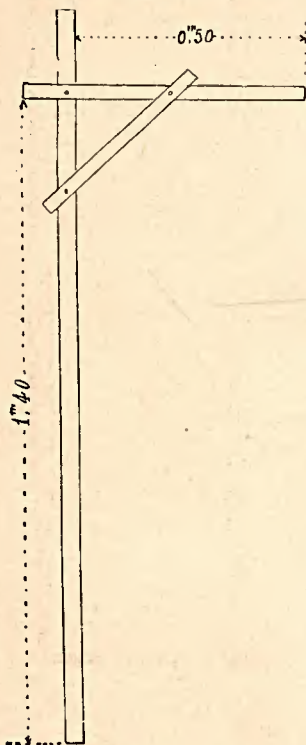


Fig. 147. — Équerre pour le règlement des pentes.

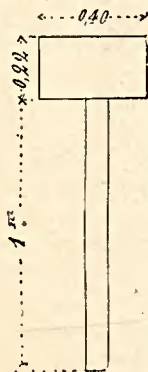


Fig. 148. — Nivelette.

gueur égale à la distance verticale qui sépare le cordeau *ad* (fig. 146) du fond de la tranchée. Pour fixer en chaque point la profondeur de cette tranchée, il suffit donc d'appuyer sur le cordeau la petite branche de la croix ; l'extrémité de la grande

branche indiquera si le fond de la tranchée a bien la profondeur voulue.

Quelques personnes emploient le niveau de maçon pour vérifier les pentes. A cet effet, elles le placent sur le fond du fossé, et elles constatent si le fil à plomb fait bien, avec la règle, l'angle qui correspond à la pente. Ce procédé ne donne pas un résultat exact. Celui qui consiste à examiner si de l'eau jetée dans le fossé s'écoule régulièrement n'est pas plus recommandable.

8. — Pose des tuyaux.

Nous avons vu que, dès l'achèvement du piquetage du réseau de drainage, les tuyaux ont été transportés sur le terrain et disposés en tas. Après que les tranchées ont été creusées, ils sont placés le long, sur la terre qui a été extraite. La pose des tuyaux est aussi l'une des opérations qui demandent le plus de soins. La plupart des obstructions ont leur origine dans une pose mal faite. On ne doit la confier qu'à des ouvriers expérimentés. On les paie à la journée. Alors que l'ouverture des

fossés se fait en partant du point le plus bas, la pose des tuyaux commence au point le plus élevé du terrain. De cette façon, c'est de l'eau claire qui coule dans les tuyaux. Au fur et à mesure que la pose avance, on balaie vers le bas la boue qui s'accumule dans la tranchée. On commence donc à l'*amont* par les drains, et on termine par les collecteurs. Pour parer à la

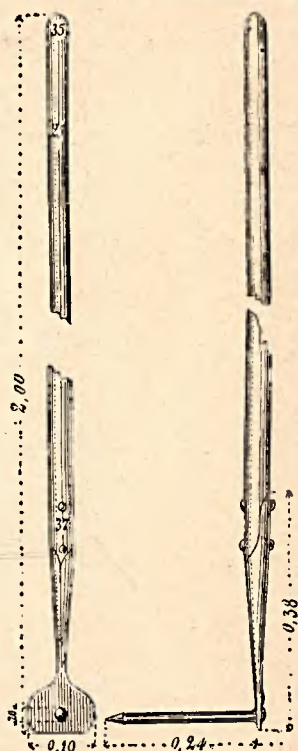


Fig. 149. — Broche à poser les drains.

dégradation des tranchées des collecteurs, qui restent parfois

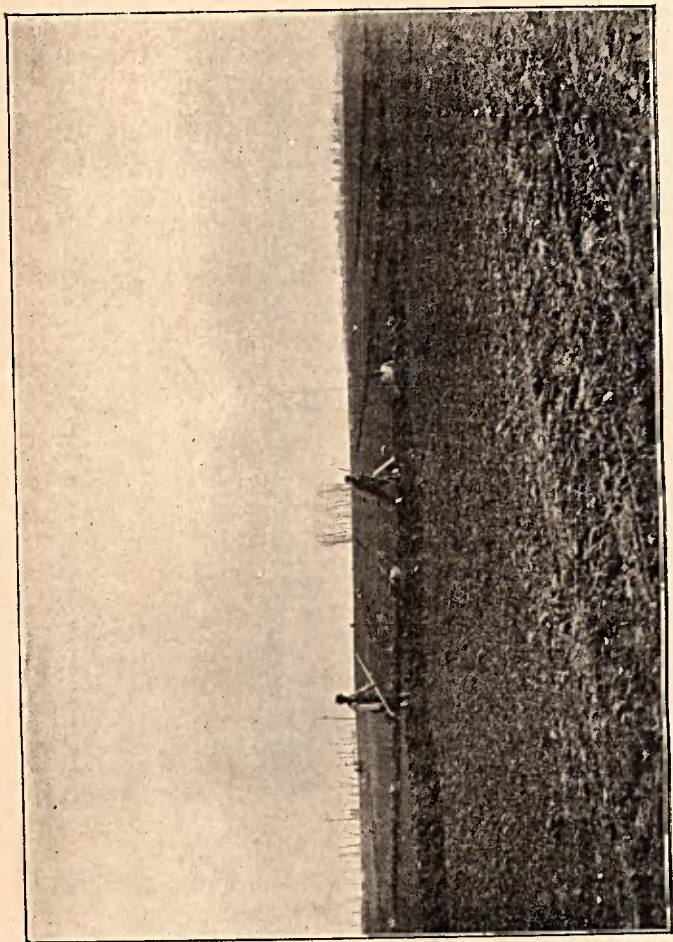


Fig. 150. — Chantier d'un drainage de M. Chandora, en Seine-et-Marne ; pose des tuyaux.

assez longtemps ouvertes, on peut y placer provisoirement les tuyaux. Plus tard, on les remplacera, après avoir nettoyé le

fond du fossé et contrôlé la pente. Autant que possible, on choisira un temps sec pour effectuer la pose des tuyaux. L'ouvrier allant à l'origine de la tranchée, à l'amont, nettoie soigneusement le fond avec la curette représentée figure 151 et appelée *col de cygne*. Il le foule avec la *dame* (fig. 134, p. 491), si c'est nécessaire. Puis il prend un tuyau à l'aide de la *broche* (fig. 152) ; se plaçant soit à droite du fossé, soit, s'il est assez étroit, à cheval, un pied à chaque bord, il descend le tuyau dans la tranchée. En imprimant à la broche une série de petites secousses, il le fait tourner jusqu'à ce que son assiette soit bien assurée. Il l'assujettit en frappant dessus à coups secs avec l'extrémité en bois de l'outil. Il ferme soigneusement le premier drain, qui est celui du haut, par un tampon d'argile, une pierre plate ou une tuile. Sans cette précaution, la terre du haut et peut-être de petits animaux pénétreraient dans les drains et amèneraient bien vite des obstructions.

L'ouvrier prend ensuite un second tuyau ; il le place à côté du premier ; il le fait tourner jusqu'à ce qu'il s'adapte exactement au précédent et qu'il repose bien sur le fond. Il l'assujettit alors dans cette position en le frappant avec la broche au bout et dessus. Et il continue ainsi jusqu'à l'extrémité de la ligne. Les collecteurs, à partir du diamètre de 0^m,20, se placent à la main.

C'est une très mauvaise pratique que de placer sur les drains une couche de paille de seigle ou d'avoine. Autrefois on recouvrait les joints d'un manchon dans lequel s'emboîtaient

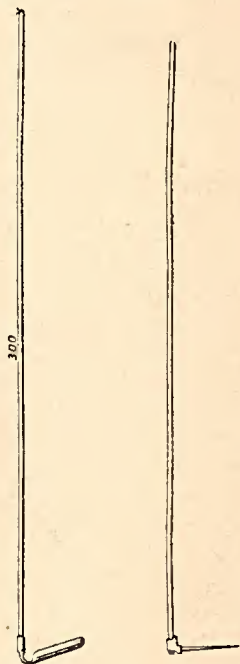


Fig. 151. Fig. 152.
Col de cygne. Broche.

les extrémités des tuyaux. On y a renoncé: les tuyaux appuyés

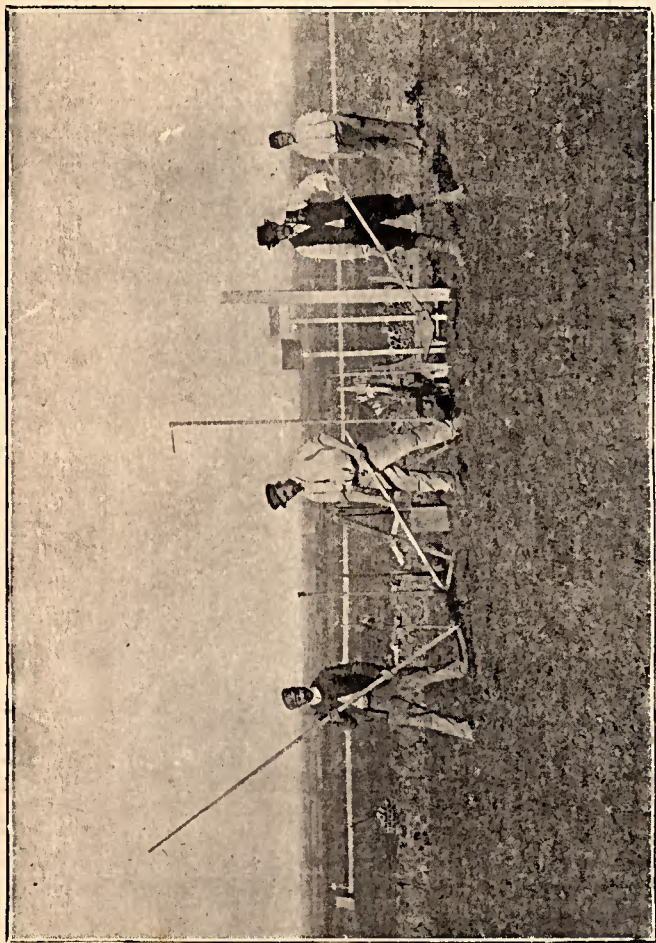


Fig. 453. — Chantier d'un drainage de M. Chandora (collection des outils qui servent au drainage)

à leurs bouts se cassaient quelquefois sous le poids de la terre. On ne se sert plus de manchons que dans les sols qui peuvent s'affaisser et donner ainsi lieu à des solutions de continuité

des lignes de drains, par exemple dans les terrains tourbeux. On ne cale même plus les drains en leurs points de jonction avec des éclats et débris de tuyaux. Il suffit, pour assurer la solidité de leur pose, que les tranchées aient été bien exécutées et que le remblayage soit opéré avec soin.

Il vaut mieux renoncer à l'emploi des tuyaux courbes, tels que *aa'* (fig. 154), car, si la concavité ou la convexité ne repose pas sur le sol, il y a chance de rupture par le poids de la terre sur laquelle on remplit le fossé et ensuite d'obstruction, et, si la concavité est placée autrement, les joints avec les autres tuyaux rectilignes sont béants, comme en *abc* et *a'b'c'* et béants surtout sur le côté de la ligne des drains, où il

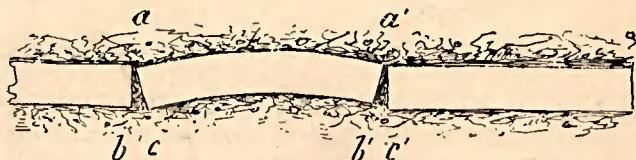


Fig. 154. — Tuyau courbe à rejeter.

est à peu près impossible de poser un obturateur quelconque. Ce qu'il y a de plus commode pour couvrir les joints qui sont trop ouverts, ce sont des morceaux de manchons ou de tuyaux d'un calibre supérieur ; on les place au moyen d'une pièce en bois. Mais il faut toujours tourner les tuyaux de manière que le point le plus ouvert soit en haut.

Raccordement des tuyaux. — Il faut qu'ils soient très bien faits. Pour raccorder deux drains qui suivent deux directions différentes, qui forment un coude, par exemple, on taille l'extrémité de chacun d'eux en sifflet, et on place les deux drains avec les précautions habituelles.

Pour raccorder deux collecteurs de même direction, mais de diamètres différents, on dispose les deux tuyaux de manière que leurs axes se confondent, en appuyant sur le plus gros pour l'enfoncer. On place ensuite des éclats de tuyau au point de jonction, sur le petit tuyau et sur les côtés. On enfonce à force pour assurer la solidité du raccord (Provost).



Les raccordements des drains et des collecteurs exigent des soins tout particuliers. Ils s'exécutent de différentes manières. On peut pratiquer dans le collecteur une ouverture circulaire d'un diamètre égal à celui du drain, couper en sifflet l'extrémité du dernier et rapprocher les deux tuyaux, de manière

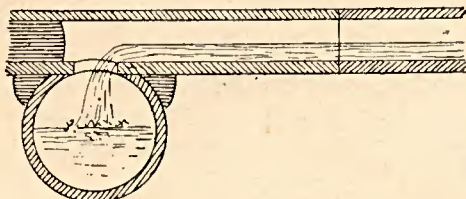


Fig. 155. — Raccordement d'un drain avec un collecteur.

que les deux ouvertures s'adaptent exactement l'une à l'autre. L'opération doit être faite de telle sorte que les arêtes supérieures des deux tuyaux soient placées dans le même plan. Il en résulte que le fond de la tranchée qui reçoit le drain doit déboucher au-dessus de celui de la tranchée du collecteur d'une hauteur égale à la différence des deux diamètres.

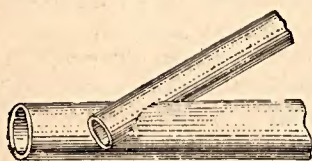


Fig. 156. — Raccordement d'un drain et d'un collecteur.

On cale les deux tuyaux avec quelques-uns des débris qui proviennent des ouvertures.

Ce raccordement demande, de la part de l'ouvrier, une certaine habileté; s'il est mal fait, le drain saillit dans le collecteur, diminue sa section et forme un obstacle à l'écoulement de l'eau, précisément en l'un des points où il doit se faire le plus facilement. Mais il a l'avantage, souvent précieux, de ne pas diminuer la pente des drains.

Un procédé très recommandable quand on dispose d'assez de pente consiste à découper dans le drain, avant son extrémité, et dans le collecteur des ouvertures circulaires telles qu'elles se correspondent dans les deux tuyaux (fig. 155 et 156).

On place le drain sur le collecteur de manière que les deux ouvertures s'épousent, et l'on obture hermétiquement avec un tampon d'argile plastique l'extrémité libre du drain (fig. 155). De cette façon, l'eau tombe du drain dans le collecteur

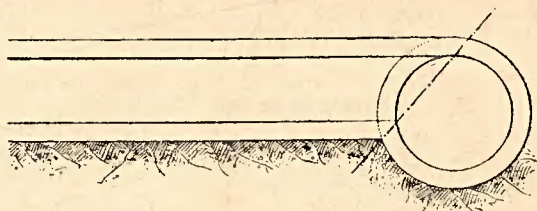


Fig. 157. — Raccordement d'un drain et d'un collecteur.

par une petite chute. Ce raccordement exige que le fond des tranchées qui reçoivent les collecteurs soit au-dessous de celui des tranchées destinées aux drains.

A la longue, surtout si la descente de l'eau est souvent rapide, le tampon qui obture le drain de raccord peut finir par laisser plus ou moins passage à l'eau, et celle-ci s'écoule au dehors du collecteur au lieu d'y pénétrer. En Allemagne, on construit des drains avec raccords qui permettent d'éviter cet inconvénient. Ce système, comme le précédent d'ailleurs, amène une perte de pente qu'il faut pouvoir supporter et dont il convient de tenir compte en rédigeant le projet de drainage.

Pour couper les ouvertures dans les parois des drains, on se sert du petit marteau représenté par la figure 158. Son manche, très léger, porte un fer terminé d'un côté par une lame très tranchante et de l'autre par une pointe aiguë. Une fois les ouvertures faites, on les régularise au besoin avec la lime.

Quel que soit le système de raccordement adopté, celui-ci ne doit jamais avoir lieu entre un demi-drain et le collecteur.

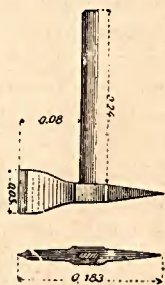


Fig. 158. — Marteau pour tailler les ouvertures dans les tuyaux.

Si la longueur de la file des drains ne permet pas d'employer de drains entiers sur toute la file, on fait précéder le drain de raccordement du demi-drain nécessaire.

Rappelons que les raccordements des petits drains et des collecteurs ne doivent pas se faire sous un angle trop faible, mais autant que possible voisin de 60°.

9. — Remblayage des tranchées.

Les tuyaux étant placés, leur pose et leur pente soigneusement vérifiées par les surveillants des travaux (le propriétaire doit mettre comme condition *sine qua non* du paiement du drainage que la pose des tuyaux ait été reconnue bien faite avant leur recouvrement), il faut sans tarder procéder à leur recouvrement et au remplissage des fossés. Si l'on tardait, la pluie pourrait compromettre le travail qui a été fait jusque-là. Cette besogne mérite aussi beaucoup d'attention.

Il faut bien se garder, cela a été quelquefois conseillé, de placer par-dessus les drains des branches de bois, du menu gravier ou quelque chose de semblable, sous prétexte de favoriser le passage de l'eau. C'est tout le contraire qu'il faut faire. On doit s'efforcer de ne laisser arriver l'eau que lentement aux drains, filtrée, de manière qu'elle n'y pénètre que claire. Les ouvriers commenceront par déposer au fond du fossé, avec précaution, immédiatement au-dessus des tuyaux, une couche de terre de 0,10 à 0,30 d'épaisseur. Ils choisiront dans les matériaux extraits de la tranchée la terre la plus fine. Cette terre émiettée sera jetée à la pelle, puis soigneusement piétinée. On la pilonnera avec un petit pilon en bois si la tranchée est trop étroite pour qu'un homme puisse y descendre. On achèvera de remplir la tranchée en y jetant le reste de la terre par couches de 0^m,30. Chacune de ces couches sera soigneusement tassée comme la précédente. Pour exécuter ce travail, on emploiera soit une houe spéciale appelée *croc*, soit la houe ordinaire. On jettera naturellement au fond la terre la moins fertile, réservant la terre végétale qui sera remise à la place qu'elle occupait avant l'ouverture des fossés. Les grosses pierres seront toujours mises de côté. Dès qu'il y aura 50 cen-



timètres de terre dans les fossés, les dangers que courait la pose des tuyaux seront écartés, et, surtout s'il fait beau, l'achèvement du travail pressera moins.

Quel que soit le soin avec lequel on aura tassé la terre, il restera toujours, après le remplissage, une surélévation du sol au-dessus des tranchées. Elle disparaîtra à la suite des pluies qui tassent la terre et des labours dans les terres arables. Quant aux prairies, surtout si elles sont irriguées, le pilonnage de la terre dans les tranchées importe d'autant plus qu'il convient que le sol soit parfaitement nivelé, afin que l'arrosage soit possible. On rapportera avec soin aussi leurs gazons, et on les damcra pour assurer le tallage et la régularité de la surface.

Il est d'ailleurs absolument nécessaire que, malgré les tuyaux, malgré le foisonnement, toute la terre qui a été enlevée d'une tranchée soit remise en place lors du remplissage. S'il n'en était pas ainsi, des affaissements du terrain pourraient se produire qui rendraient la culture difficile.

Sauf la pose de la première couche de terre, qui doit être particulièrement soignée et confiée à l'ouvrier qui pose les tuyaux, le remplissage des fossés se fait à la tâche.

10. — Tracé et correction de l'émissaire.

Nous avons expliqué plus haut l'importance de l'émissaire. Il faut qu'il laisse toujours un facile écoulement aux eaux qui

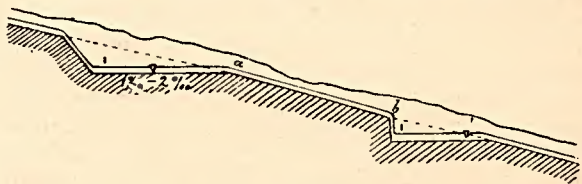
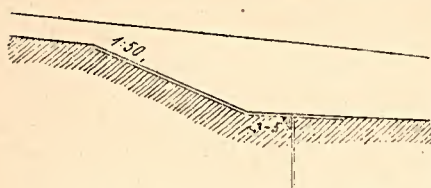


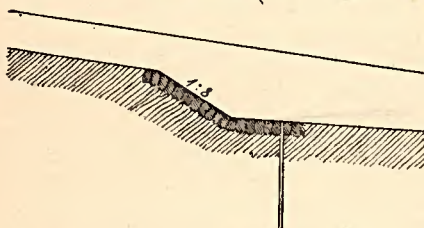
Fig 159. — Correction de l'émissaire (d'après Vogler).
Profil en long de l'émissaire rectifié.

proviennent du drainage. Les soins qui doivent accompagner son établissement et son entretien sont naturellement d'autant

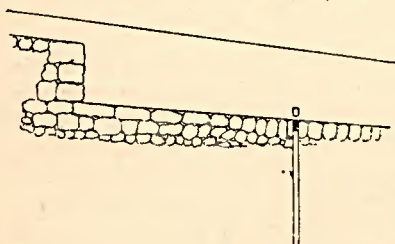
plus pressants que la surface drainée est plus considérable. Nous avons dit comment on peut calculer ses dimensions :



Revêtement en gazon (pente : $\frac{1}{50}$).



Revêtement en pavés (pente : $\frac{1}{8}$).



Revêtement en pierres (paroi verticale).

Fig. 160 — Correction de l'émissaire (d'après Vogler). — Revêtement des pentes.

douces, en créant de place en place des paliers. On les protège contre le courant par des revêtements de gazon ou de pierres. Il est utile de prendre les mêmes précautions aux

largeur, profondeur. Lorsqu'il est constitué par un ruisseau ou une rivière, il est nécessaire de procéder soigneusement, aux époques convenables, au curage de ce cours d'eau et à son faucardement. S'il présente des parties sinueuses à proximité des champs drainés, il faut les remplacer par un canal rectiligne qui réunit les deux tronçons de la rivière. Si cet émissaire, que ce soit un cours d'eau ou un fossé, a des différences de pente brusques, il est nécessaire de remplacer ces pentes trop rapides, qui provoqueraient des érosions, par des pentes plus

endroits où débouchent les collecteurs. Là, on installe des paliers qui n'ont pas plus de 1 à 2 p. 1 000 de pente, tandis que la section qui les précède a une pente beaucoup plus forte : de $\frac{1}{8}$ à $\frac{1}{50}$.

Ces sections à forte pente de l'émissaire sont préservées contre les érosions à l'aide de revêtements de gazon pour les pentes les plus faibles, de pavés pour les pentes plus fortes, de pierres pour les chutes verticales. Les figures 159 et 160 représentent en coupe les parties de l'émissaire traitées de cette façon.

C'est dans le *redressement* de la rivière ou du fossé naturel qui reçoit les eaux du drainage que consiste surtout la *correction de l'émissaire*. Il s'agit de remplacer des sinuosités, qui nuisent à un débit régulier et qui peuvent provoquer des inondations, par un tracé rectiligne. Dès que l'émissaire a une certaine importance, l'opération devient délicate. Elle rappelle d'ailleurs beaucoup les détails de l'ouverture des tranchées de drainage et du règlement de la pente du fond.

La direction de l'émissaire rectifié a été tracée sur le terrain en enfonçant suivant son axe, au ras du sol, tous les 50 mètres environ, des piquets de 0^m,50 de long.

À côté de ces piquets, qui marquent les points hauts et les points bas du terrain, on place des jalonnettes qui portent un blanc pour écrire. Puis on nivelle chacune des têtes des piquets. On obtient ainsi le profil en long du terrain, suivant l'axe de l'émissaire rectifié. Il est facile de déduire de ce nivellement le profil en long du plafond de l'émissaire et de calculer en chacun des points intéressants sa profondeur exacte au-dessous du sol naturel, de manière que l'émissaire conserve partout la profondeur moyenne qui correspond à son débit. Jusqu'ici, par conséquent, on procède absolument comme pour ouvrir et tracer régulièrement les tranchées destinées à recevoir les collecteurs et les drains (Voy. p. 494 et suiv.).

Tracé des limites de l'emprise de l'émissaire. — Mais alors que pour ces petits fossés, qui d'ailleurs seront remblayés, les talus découpent dans le sol des emprises à peu près régulières et qu'il est inutile de s'en occuper, la largeur de



l'emprise du canal de correction de l'émissaire, qui a beaucoup plus d'étendue, varie en chacun des points du parcours avec les reliefs des profils correspondants de l'émissaire et la pente du terrain.

La figure 161 permet de s'en rendre compte. Soient AB la largeur de l'emprise du canal en un certain point de son parcours, CD la largeur

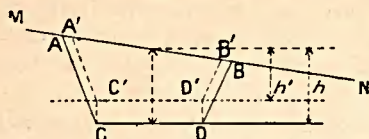


Fig. 161.

du plafond, h la hauteur de la section. Le plafond du canal n'est pas parallèle à la surface du sol; un peu plus loin, pour conserver sa pente, il ne sera plus qu'à la profondeur h' par exemple, plus petite que h , et, tout en conservant la même large-

leur $C'D'$ au plafond, l'emprise $A'B'$ sera plus petite que l'emprise AB . Comme l'émissaire doit avoir des talus très nettement déterminés, il constitue un fossé d'une assez grande dimension, il peut être intéressant de calculer de place en place les dimensions de son emprise.

Voici la méthode que recommande M. Provost dans le mémoire déjà cité (1) :

Soient (fig. 162) :

MN , la section du sol par un plan vertical, perpendiculaire à l'axe horizontal de l'émissaire et qui est celui de la figure;

ABO , celle de la moitié de l'émissaire par le même plan, ou son profil en travers;

p , la pente du sol;

π , celle du talus;

h , la profondeur de l'émissaire au point O considéré;

l , la demi-largeur (OB) du plafond;

m , la largeur (oa) de l'emprise si le sol était horizontal dans le profil en travers considéré;

x , la largeur cherchée, AP , de l'emprise;

y , la différence de niveau AO' entre le piquet placé en o , à la rencontre de l'axe vertical de l'émissaire et du sol, et le piquet placé à la limite A de l'emprise. On a évidemment, en traduisant la définition de la pente (Voy. p. 457) :

$$(1) \quad m = l + ba = l + \frac{h}{\pi}.$$

$$p = \frac{AO'}{oO'} = \frac{y}{x}, \quad \pi = \frac{AO'}{aO'} = \frac{y}{x - m},$$

(1) Provost, Renseignements techniques sur l'exécution des travaux de drainage (*Annales de la Direction de l'Hydraulique agricole*, 1905).

d'où

$$y = px \quad \text{et} \quad y = \pi(x - m)$$

et

$$x = m \frac{\pi}{\pi - p} = \left(l + \frac{h}{\pi} \right) \frac{\pi}{\pi - p}.$$

Les calculs auxquels cette formule donne lieu sont laborieux, et lorsque la pente du sol en travers est faible, comme c'est très généralement le cas dans les terrains où l'on établit des émissaires de drainage, il vaut mieux, au lieu de chercher x , chercher $x - m$, soit aO' , que nous désignerons par x' .

On a :

$$x - m = \frac{m\pi}{\pi - p} - m = \frac{mp}{\pi - p}.$$

Soit d la différence de niveau entre le point o où l'axe vertical de

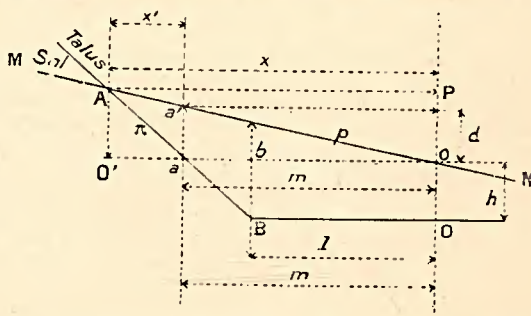


Fig. 162. — Détermination des limites de l'emprise de l'émissaire.

la figure coupe la section MN du sol et le point a' situé sur cette section et à la distance horizontale m de l'axe ; on a :

$$p = \frac{d}{m} \quad \text{et} \quad (2) \quad x' = x - m = \frac{d}{\pi - \frac{d}{m}}.$$

Or, nous avons supposé que p est très petit, $\frac{d}{m}$ est donc également très petit, et on peut admettre que :

$$(3) \quad x' = x - m = \frac{d}{\pi}.$$

Supposons que $\pi = 1$, comme il arrive souvent ; on voit qu'il suffira de calculer la cote d de a' par rapport à o et de l'ajouter ou de la retrancher du Plan.

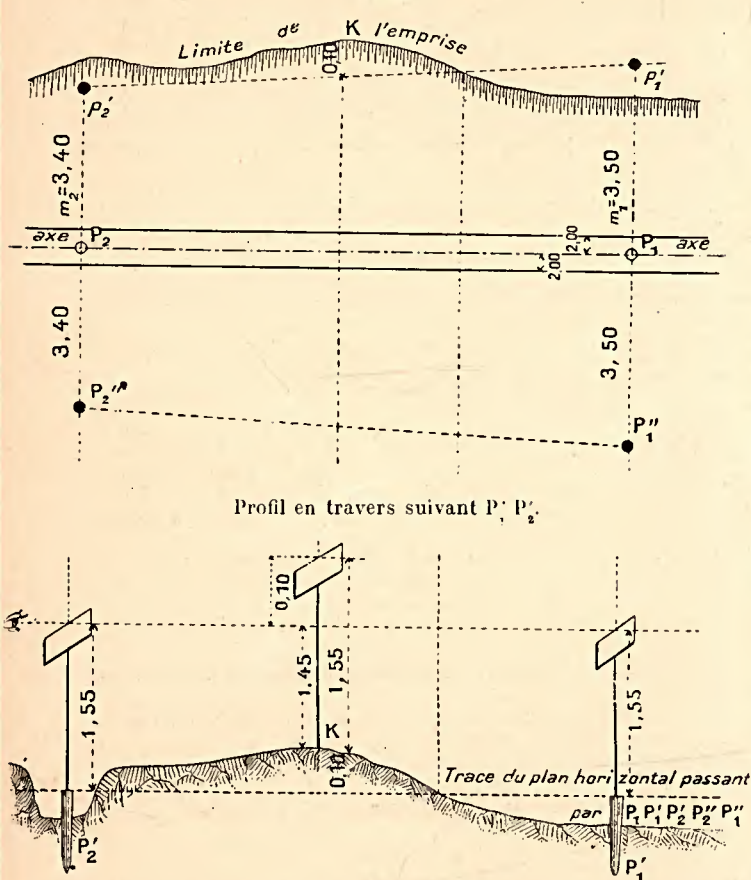


Fig. 163. — Détermination des limites de l'emprise de l'émissaire.

cher de m , suivant les cas, pour avoir x , la largeur de l'emprise, en autant de points que l'on voudra.

M. Provost recommande de procéder en pratique comme il suit.

Plantons, dit-il (fig. 163), deux piquets aux points P_1 et P_2 espacés d'autant plus (30 à 50 mètres) que la pente est plus forte, à ras du sol. Supposons que la largeur $DC = l$ du plafond (fig. 161) soit de 4 mètres, que la profondeur du canal en P_1 soit de $1^m,50$, en P_2 de $1^m,40$, les valeurs correspondantes de m seront (1) en P_1 : $m_1 = 2 + \frac{1^m,50}{1} =$

$3^m,50$; en P_2 : $m_2 = 2 + \frac{1^m,40}{1} = 3^m,40$.

Plantons dans le profil en travers passant par P_1 , à m_1 de l'axe, et de part et d'autre, deux piquets P'_1 et P''_1 ; de même plantons à la distance m_2 de l'axe, de part et d'autre de P_2 , les piquets P'_2 et P''_2 .

A l'aide du niveau, mettons les piquets P'_1, P''_1, P'_2, P''_2 sur la même horizontale que P_1 ; il en résulte que le plan horizontal passant par l'axe $P'_1 P'_2$ contient les autres piquets et notamment les lignes $P'_1 P'_2, P''_1 P''_2$. Considérons le profil en travers suivant $P'_1 P'_2$; plaçons deux nivelettes N et N' de $1^m,55$, par exemple, sur les piquets P'_1, P'_2 , et promenons-les l'une sur les points les plus hauts et les plus bas, une troisième nivelette N'' . Nous déterminerons ainsi les hauteurs d de ces points, tels que K au-dessus de l'axe $P_1 P_2$. Or $x' = d \times \frac{1}{\pi}$ ou $x' = d$, puisque ici $\pi = 1$.

Pour avoir x , c'est-à-dire l'emprise AP cherchée, il suffira donc d'ajouter à la valeur de m , en ce point, la valeur de d (3); si d était < 0 , il faudrait la retrancher de m . Les valeurs de m ayant été calculées pour P'_1 et P'_2 , il suffira de tracer la ligne $P'_1 P'_2$ pour obtenir sur l'épure la valeur de d au point K .

Il faut placer la troisième nivelette N'' sur les points les plus hauts et les plus bas de la ligne $P'_1 P'_2$ ou tous les 5 mètres au moins.

A chaque point déterminé K de la crête, on place un petit piquet, et, pour indiquer le sens du talus, on pique obliquement dans ce sens une petite branche.

On agirait de même pour déterminer les limites de l'emprise de l'autre côté de l'axe $P_1 P_2$.

On relie tous les piquets de crête par des cordeaux. On délimite la crête en traçant à la bêche des rigoles le long des cordeaux et à l'intérieur de l'espace qu'ils limitent.

II. — Travaux et ouvrages accessoires.

1° Le passage des fossés, des chemins et des plis de terrain;
2° les regards; 3° les bouches; 4° les bornes-repères; 5° les puits absorbants.

1° *Passage des fossés et des chemins.* — Rappelons qu'on ne doit jamais placer un drain ni un collecteur au-dessous d'un fossé d'écoulement et suivant sa longueur. Il serait bien vite obstrué.

Il peut arriver que des drains *d, d, d* (fig. 164) aient à traverser en biais des fossés ou des chemins. Dans ce cas, on les arrête au-dessus en les réunissant dans un collecteur *C*, et c'est ce dernier seul qui traverse le fossé ou le chemin.

Quand le collecteur croise un fossé qui peut contenir de l'eau, on l'entoure d'un manchon dans lequel il est cimenté. S'il ne s'agit que du passage d'un drain, il est inutile d'employer du ciment. Cette garniture le protège contre l'affaissement du sol et les secousses qui pourraient le briser.

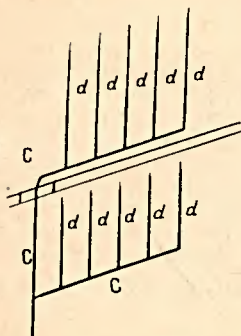


Fig. 164. — Passage des fossés et des chemins.

Pour rendre des drains étanches sur une partie de leur longueur, Hervé-Mangon recommande le procédé suivant. On tapisse le fond de la tranchée qui reçoit les drains d'un corroi formé d'argile, de sable et de lait de chaux. Le drain repose sur ce lit. Il est intro-

duit dans un autre drain. Les deux tuyaux sont disposés de telle sorte que leurs joints alternent ; on les recouvre du même corroi fortement pilonné. Pour rendre l'étanchéité plus parfaite encore, on enduit, avant de poser le drain intérieur, les joints et le petit espace annulaire qui les sépare du même corroi, mais un peu plus mou.

Lorsque plusieurs drains doivent franchir un pli de terrain, en passant d'un niveau plus élevé à un niveau plus bas, on les réunit au-dessus de ce pli dans un collecteur qui se déverse dans un petit puisard. De celui-ci part un deuxième collecteur. Il emporte les eaux du puisard et fonctionne à la manière ordinaire pour le reste du terrain.

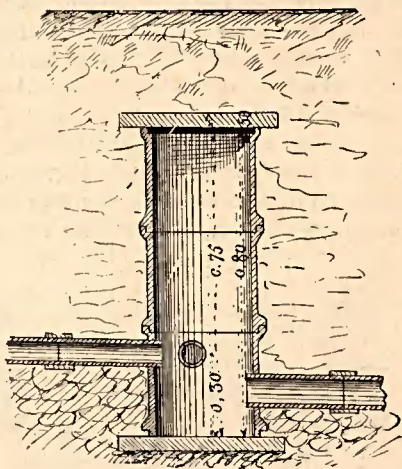
Nous avons dit déjà qu'il fallait écarter les collecteurs du voisinage des haies ou des arbres. Ils doivent s'éloigner d'une vingtaine de mètres des espèces telles que le peuplier, de 15 mètres environ des autres arbres. Ils seraient vite envahis par les racines si l'on ne prenait pas cette précaution. La distance à observer doit être

d'autant plus grande que l'arbre est plus gros (Voy. p. 528).

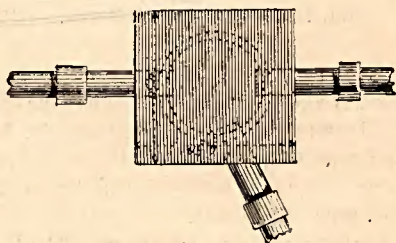
On ne doit placer dans les parties boisées des champs que des petits drains qu'il est facile de remplacer s'ils viennent à se boucher. Lorsque, faute d'un collecteur ayant un diamètre suffisant, on le remplace par deux tuyaux d'un diamètre plus petit, il est nécessaire de les placer à un écartement égal à celui des deux files de drains et non l'un à côté de l'autre. Car alors l'un annihilerait l'autre.

2° *Regards.* — Ils se placent soit aux points de rencontre des drains et des collecteurs, soit aux endroits où la pente des collecteurs diminue. Ils permettent de vérifier si le drainage fonctionne régulièrement. Hervé-Mangon les recommande chaudement.

Leur emploi paraît indispensable lorsqu'il s'agit de conduire au canal de décharge les eaux de quatre ou cinq gros collecteurs du diamètre maximum. L'arrivée directe de ces collecteurs au canal nécessiterait une bouche d'un diamètre considérable. Mais, lorsqu'ils ont réuni leurs eaux dans une citerne,



Coupe.



Plan.

Fig. 165. — *Regard.*

il suffit d'un canal de section modérée pour entraîner ces eaux à la décharge.

On les construit de deux façons différentes. On établit les moins importants en superposant deux ou trois larges tuyaux à emboîtement. Le tuyau du bas repose sur une large pierre, celui du haut est fermé par une dalle mobile. Ils s'arrêtent à une distance suffisante de la surface du sol pour que les instruments de labour ne les atteignent pas. Les tuyaux d'amenée débouchent à un niveau sensiblement supérieur à celui de l'amorce du tuyau de décharge (fig. 165). Hervé-Mangon recommande qu'ils fassent saillie sur les parois du regard, afin que l'on puisse entendre le bruit que l'eau qu'ils amènent fait en

La eiterne représentée par la figure 166 n'a pas cet inconvénient, parce que le tuyau de décharge rase le fond, qu'il a une grande section et que l'eau ne séjourne pour ainsi dire pas dans la eiterne. La terre qu'elle peut y déposer est rapidement entraînée au dehors.

3° *Bouches*. — Elles représentent l'ouvrage accessoire le plus important. Elles terminent, au-dessus du canal de décharge, le collecteur principal. Elles doivent satisfaire aux conditions suivantes : 1° ne pas s'engorger ; 2° être d'une construction solide ; 3° ne pas être exposées à l'entrée des petits animaux, tels que souris, lapins, grenouilles, etc., ni à celle des eaux du canal de décharge, ni à celle de la terre, du gravier, etc., ni aux déprédations du bétail, etc. Elles doivent être placées à 0^m,80, au moins, au-dessous de la surface du sol pour échapper aux gelées, au-dessus du niveau des eaux moyennes de l'émissaire, et à 15 ou 20 mètres des arbres tels que peupliers, aulnes, etc. Il ne faut jamais placer deux bouches l'une en face de l'autre dans l'émissaire. Comme la construction de ces ouvrages représente une dépense assez forte, qu'ils constituent l'une des parties les plus délicates et les plus exposées du drainage, il convient d'en limiter le nombre autant que possible. Cependant il serait mauvais de donner aux tuyaux une dimension trop considérable, à cause du prix élevé des grands collecteurs, et cette considération contre-balance les précédentes. Il faut établir les bouches solidement et les placer dans les endroits où elles seront le plus à l'abri. On en construit de modèles variés. L'un des plus simples et des plus pratiques est représenté par les figures 167 et 168, d'après les ouvrages de Friedrich et Vogler. Le collecteur se termine par un tuyau de fonte de 1 mètre de longueur, de 8 millimètres d'épaisseur, solidement emboîté. Ce tuyau traverse un mur en béton ou en pierres bien résistantes de 60 à 90 centimètres d'épaisseur et fait saillie de 0^m,25 sur la paroi du talus, à 15 ou 30 centimètres au-dessus du niveau moyen de l'eau dans le ruisseau ; son extrémité libre est coupée en biseau, comme l'indique la figure 167. Il est à peu près impossible aux petits animaux, à la terre ou au gravier de pénétrer dans une bouche ainsi établie.

Le petit mur que traverse le tuyau de décharge doit être



très solidement construit et reposer sur de bonnes fondations. Le lit du canal de décharge, du ruisseau, qui reçoit les eaux, doit être empierré sur une certaine longueur au-dessous de la bouche ; cet empierrement empêche l'eau de raviner.

On construit aussi des *bouches en bois*. Elles reviennent à beaucoup moins cher, mais elles sont moins solides que les bouches en fonte ou en poterie. La figure 170 représente une de ces bouches. Le collecteur, soutenu par deux pièces de bois, s'engage dans une caisse rectangulaire en bois, qui aboutit au front de l'ouvrage dans l'émissaire ; son ouverture

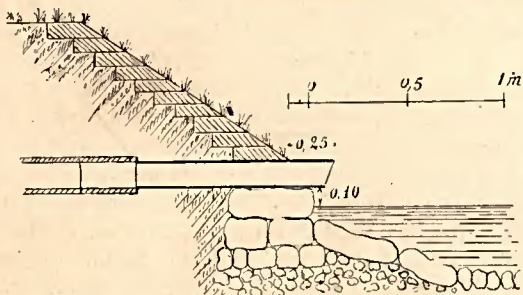


Fig. 167. — Bouche d'évacuation des eaux de drainage (coupe).

est renforcée par un cadre et munie d'une grille tantôt fixe, tantôt mobile.

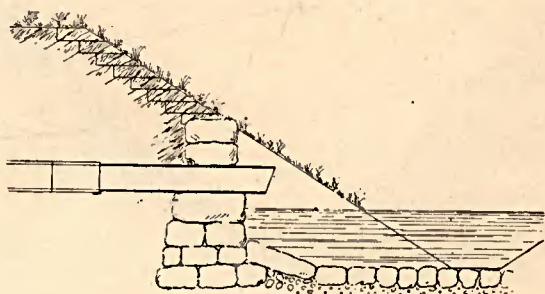
Les *embouchures en tuyaux de poterie* sont simplement constituées par un tuyau de même diamètre que le collecteur, mais d'une longueur plus grande. Elles résistent bien aux gelées, mais elles sont fragiles. Dès que le drainage a quelque importance, il est bon de les garantir à l'aide d'un petit ouvrage construit en pierres et en briques. La figure 169 donne un bon exemple de cette construction.

Dans quelques modèles, les bouches sont protégées par des grilles contre l'entrée des petits animaux, en particulier des grenouilles, et contre les matières que l'on pourrait y jeter dans une intention malveillante. Les barreaux de ces grilles sont plats, étamés, afin qu'ils ne se rouillent pas ; ils ne doivent pas être distants de plus de 4 millimètres pour agir



efficacement. Ces grilles sont fixes ou, ce qui vaut mieux, mobiles. Leur emploi n'est à conseiller que si l'on est résolu à les surveiller, car, si elles s'engorgent, faute d'être nettoyées

Coupe.



Plan.

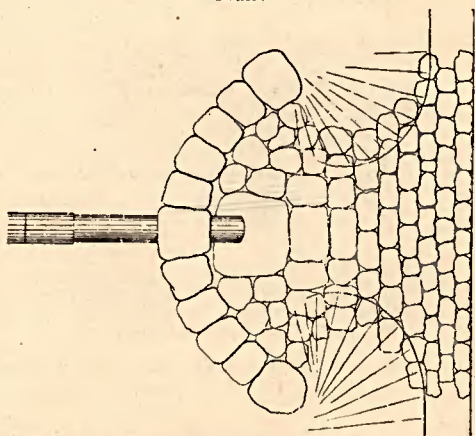


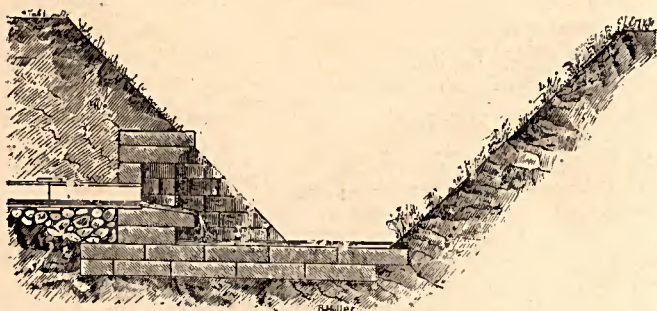
Fig. 168. — Bouche d'évacuation des eaux de drainage avec niche protectrice.

de temps en temps, elles deviennent très nuisibles. La grille mobile offre cet avantage que, s'il faut la changer, on n'est pas obligé de remplacer le tuyau de sortie.

Lorsque la bouche est exposée à être envahie par les eaux

du canal de décharge au moment d'une crue, on la munit d'un clapet qui s'ouvre pour laisser écouler l'eau du drainage et qui

Coupe.



Élévation à la sortie de l'eau.

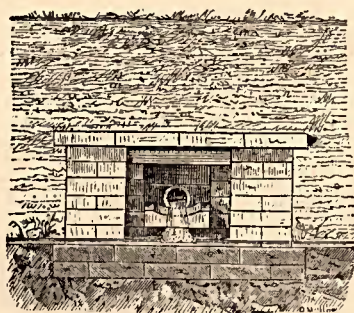


Fig. 169. — Bouche d'évacuation des eaux avec niche protectrice, d'après Hervé-Mangon.

se ferme sous la pression du flot. Ce clapet est adapté à l'extrémité d'une caisse en bois qui retient le collecteur. Elle s'ouvre un peu en avant du talus de l'émissaire, et elle est protégée contre le soleil et la pluie par une cage rectangulaire en bois, plus large, qui fait saillie dans l'émissaire.

L'établissement de ces clapets est toujours chose délicate, et il vaut mieux s'en passer chaque fois que c'est possible.

Rappelons que les collecteurs doivent déboucher dans l'émissaire sous un angle de 45° .

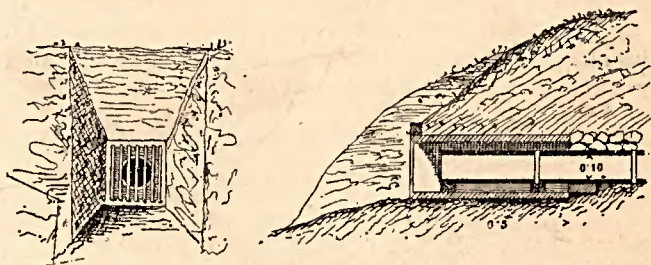


Fig. 170. — Bouche d'évacuation des eaux, en bois, avec grille de protection.

4° *Bornes-repères.* — Elles servent à retrouver sur le terrain l'emplacement des collecteurs et des principales files de drains. Ce sont de petites bornes (fig. 171) en pierre qui portent sur l'une de leurs faces latérales l'indication du collecteur ou du drain et sur la face supérieure une flèche qui indique leur direction. Elles rendent facile la recherche des tuyaux, si quelque réparation devient nécessaire.

5° *Puits absorbants.* — Il arrive qu'on ne puisse pas disposer facilement d'un canal de décharge et que le sol soit assez perméable à une certaine profondeur pour qu'il absorbe l'eau du drainage. La figure 172 donne la coupe d'une disposition qui a été appliquée à l'écoulement des eaux de drainage d'un terrain placé dans ces conditions.

Le collecteur principal amène les eaux dans une caisse *a* en maçonnerie, où elles laissent déposer les matières solides qu'elles ont entraînées. Sans cette opération préalable, le puits s'engorgerait et, très rapidement, ne pourrait plus fonctionner.

Élévation.



Plan.



Fig. 171. — Borne-repère.

Elles se rendent ensuite par la conduite *b* dans la caisse *c*, puis elles se perdent dans la couche perméable. La citerne *a* doit être d'un accès facile, de manière qu'on puisse l'inspecter et la nettoyer souvent. Il est clair qu'avant de réaliser une telle installation, il faut s'assurer que toutes les eaux du drainage pourront bien s'écouler dans la couche perméable, et cela pen-

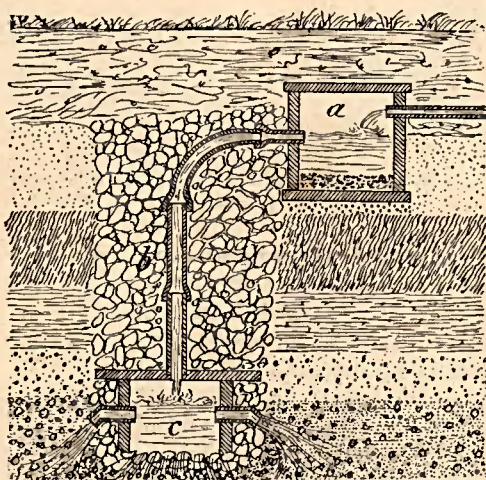


Fig. 172. — Puits absorbant.

dant un temps indéterminé. On peut d'ailleurs simplifier de la manière suivante la disposition que nous venons d'indiquer. Le tuyau de sortie des eaux, au lieu de descendre verticalement, peut se prolonger horizontalement et aboutir au-dessus d'une citerne formée de plusieurs gros tuyaux de ciment emboîtés les uns dans les autres. Cette citerne est fermée à sa partie inférieure par une grosse pierre plate, au-dessus de laquelle on dispose plusieurs tuyaux de drainage percés de trous qui dispersent l'eau dans la couche perméable.

Il est avantageux de munir la caisse *a* d'un dispositif très simple qui ferme automatiquement l'entrée du tuyau de sortie des eaux lorsque le dépôt de boue est devenu trop considérable.

L'eau reflue alors dans le tuyau de drainage, et son apparition à la surface du champ montre qu'il faut nettoyer la citerne.

On n'emploiera d'ailleurs ce procédé d'écoulement des eaux que dans le cas où il sera impossible d'atteindre un canal de décharge.

CHAPITRE VIII

OBSTRUCTIONS DES DRAÎNS ET MOYENS DE LES PRÉVENIR.

1° Obstructions par les racines. — Dans un drainage bien fait, les tuyaux ne sont que fort rarement bouchés par les racines des plantes annuelles que nous cultivons. Il peut bien arriver que des racines de betteraves ou de céréales y pénètrent, mais ces bouts de racines périssent après la récolte et sont entraînés par l'eau. Dans tous les cas, il vaut mieux attendre, pour cultiver les plantes à racines pivotantes, comme la betterave, que la terre qui a remblayé les tranchées soit bien tassée.

Quand les drains n'ont à emmener que les eaux de pluie, ils cessent de couler pendant plusieurs mois. Pendant cette période de sécheresse, les chevelus des plantes vivaces (luzerne, etc.) qui auraient pu y entrer se détruisent et sont emmenés, quand l'eau recommence à couler.

C'est seulement dans les drains qui donnent de l'eau toute l'année que les obstructions offrent des dangers sérieux.

Dans les terrains marécageux, quelques plantes qui sont spéciales à ces terrains, par exemple des prêles, peuvent produire des obstructions. Mais ces plantes disparaissent presque toujours quand le sol a été mis à sec.

Ce sont les racines des arbres qui sont les plus dangereuses, surtout celles des saules, des peupliers, des ormes, des sureaux, des frênes, etc.

Quand il s'agit de quelques arbres isolés, ce qu'il y a de plus sûr, c'est de les sacrifier pour sauver le drainage.

Quand il s'agit d'un nombre d'arbres relativement considérable, il faut bien s'arranger de manière à vivre avec eux. Si l'on peut arrêter les extrémités supérieures des drains à 5 ou 6 mètres de ces arbres, il n'y a pas grand'chose à craindre.



Si ce n'est pas possible, on réunira les extrémités des drains par un tuyau parallèle à la rangée d'arbres, mais qui en sera écarté d'une vingtaine de mètres, et sur le tuyau on greffera en place des drains coudés qui assainiront l'espace compris entre le réseau de drainage et les arbres. Si l'un ou l'autre de ces tuyaux s'obstrue, il suffira de le changer sans être obligé de toucher au réseau lui-même (fig. 173).

On peut enfin, dans le voisinage des arbres, remplacer les tuyaux ordinaires par des tuyaux plus longs et cimenter leurs joints pour empêcher les racines d'y pénétrer.

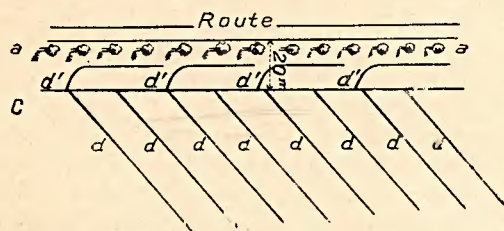


Fig. 173. — Disposition des drains au voisinage d'arbres.

Dans les eaux de sources qui coulent constamment, il se développe quelquefois des conferves ou des algues assez abondantes pour obstruer les tuyaux. Ce sont elles qui forment ces touffes volumineuses appelées *queues de renard*. Le meilleur moyen d'éviter cette cause d'obstruction, c'est de n'employer que des tuyaux d'assez forts calibres (0^m,05), à surface lisse, et de leur donner une forte pente.

2° Dépôts de sable fin et d'argile. — Dans beaucoup de terrains, lorsqu'il survient, après une période de sécheresse, des pluies assez abondantes pour faire couler les drains, l'eau que débitent ces drains est, pendant quelques jours, très trouble ; elle ne s'éclaircit que peu à peu. C'est surtout pendant les premières années qui suivent l'établissement des drains que l'eau qui les traverse entraîne beaucoup de ces parties fines, et c'est même grâce à cela qu'il se forme dans le sol des fissures qui le rendent de plus en plus perméable.

Mais si, sur un point quelconque, la vitesse de l'eau qui coule

dans les drains se ralentit, il se forme en ce point un dépôt qui augmente progressivement et finit par causer une obstruction complète (1). Beaucoup de drainages faits d'après les anciennes méthodes, c'est-à-dire avec les drains placés suivant la plus grande pente du terrain et les collecteurs en travers, n'ont presque pas eu le temps de fonctionner, parce qu'il s'est formé des dépôts aux points de jonction des drains avec le collecteur. De tels dépôts se forment aussi quand la pente des drains, au lieu d'être régulière, présente des *variations*; quand des tuyaux ont été cassés pendant le remplissage des tranchées, lorsque l'on emploie des tuyaux de trop faible diamètre, comme ceux de 0^m,025, préconisés autrefois, en général lorsque les drainages ont été mal faits. Ces insuccès seront évités si l'on suit bien les règles que nous avons données pour l'exécution des travaux.

3° *Dépôts calcaires.* — Dans son *Traité de drainage*, Barral a cité un dépôt calcaire qui a arrêté le fonctionnement d'un drainage fait en Angleterre; mais les drains étaient en gazon. Nous ne croyons pas que des obstructions de ce genre soient à craindre avec des tuyaux en terre cuite. Il est vrai que, dans la plupart des sols calcaires, les eaux chargées d'acide carbonique qui traversent la couche supérieure y dissolvent du carbonate de chaux, qui se dépose dans le sous-sol à une plus ou moins grande profondeur et y forme des concrétions ou cimentent entre eux les grains de sable et les graviers; souvent ces dépôts contribuent à donner au sous-sol une imperméabilité nuisible aux récoltes, et peut-être sont-ils en grande partie la cause de la chlorose dont souffrent certaines vignes. Mais ils se forment ordinairement à une profondeur moins grande que celle de 1 mètre à 1^m,20, où l'on place les drains, et ces drains, loin de risquer d'être obstrués par eux, peuvent au contraire diminuer les inconvénients qu'ils ont pour la culture.

Pour empêcher ces obstructions hypothétiques, Hervé-Mangon a proposé d'intercepter la communication des tuyaux

(1) On a conseillé, pour débarrasser l'eau, avant son entrée dans des tuyaux, des matières qu'elle tient en suspension, de pilonner ou piétiner une couche d'argile sur la ligne de ces tuyaux; mais c'est un remède qui ferait plus de mal que de bien.



avec l'air extérieur et, par suite, le dégagement de l'acide carbonique qui tient le carbonate de chaux en dissolution, en modifiant la construction des regards, c'est-à-dire en y faisant déboucher le tuyau d'arrivée au-dessous du tuyau d'écoulement. Ce remède aurait plus d'inconvénients que d'avantages, en diminuant la vitesse d'écoulement des drains.

4° *Dépôts ferrugineux.* — Dans les terrains marécageux à sous-sol d'argile ferrugineuse, les eaux dissolvent du protoxyde de fer, qui forme, en s'oxydant, lorsqu'il arrive à l'air, des dépôts d'ocre plus ou moins mêlé de matières organiques. Ces dépôts se trouvent quelquefois avec le sable fin et l'argile qui obstruent les tuyaux dans les drainages mal faits. Mais, quand l'assainissement a été exécuté avec soin, l'air qui pénètre de toutes parts le terrain y oxyde le fer, qui devient insoluble, en sorte qu'il ne peut plus causer d'obstructions dans les tuyaux.

5° *Obstructions par les animaux.* — La meilleure manière d'empêcher les lapins, souris, taupes, grenouilles, etc., de pénétrer dans les drains et d'y causer des obstructions, c'est, comme nous l'avons dit, de faire aboutir le collecteur à une hauteur de 40 à 50 centimètres au-dessus du niveau ordinaire de l'eau dans le fossé ou le ruisseau dans lequel il se déverse et de le faire dépasser le mur qui le soutient de 15 à 20 centimètres. Si cela n'est pas possible, il faut mettre une grille devant l'ouverture et ne pas oublier de la nettoyer de temps en temps.

6° *Détermination de l'endroit où le drainage cesse de fonctionner.* — Aux environs, la terre est plus humide et prend une teinte plus foncée que dans le reste du champ. Pour le déterminer avec précision, M. Faure, dans son *Traité de drainage* (1), recommande de procéder comme il suit : Marquer d'abord par des piquets la place suspecte, afin de la retrouver facilement lorsque le sol sera sec et que les travaux seront plus faciles à exécuter. A ce moment-là, creuser perpendiculairement à la direction du drain un petit fossé transversal que l'on descendra jusqu'à la conduite. Si, au point où l'on aboutit, le sol est très humide et que l'eau suinte ou jaillisse entre les

(1) L. FAURE, *Drainage et assainissement agricole des terres*, Paris, 1903.

interstices mis à nu, on en conclut que le point cherché est situé à l'aval de la tranchée. Il est au contraire à l'amont si le terrain est sec et que la conduite fonctionne normalement. On creuse alors, suivant le cas, soit à l'aval, soit à l'amont de ce premier fossé et parallèlement à lui une seconde tranchée, et on arrive de la sorte à circonscrire la partie du tuyau où l'obstruction s'est produite. On n'a plus, pour réparer le dégât, qu'à suivre la ligne du drain entre les deux fossés, à enlever les tuyaux et à les remplacer par d'autres, en ayant soin de prendre toutes les précautions que nous avons précédemment indiquées.

CHAPITRE IX

ÉCONOMIE DU DRAINAGE.

A. Prix de revient du drainage. — La dépense que coûte un drainage est très variable. Elle dépend de la nature du sol, de sa compacité, de sa topographie, de son étendue, de son morcellement, du prix de la main-d'œuvre, des acquisitions de terrains qu'il peut être nécessaire de faire, etc.

Elle varie aussi avec la profondeur à laquelle on doit placer les tuyaux, avec la distance d'où il faut les faire venir. Aussi est-il impossible de donner des chiffres précis. Le prix d'un drainage bien fait peut varier de 250 à 500 francs à l'hectare.

Au lieu du prix de revient à l'hectare, on envisage souvent le *prix au mètre courant*. Il peut varier entre 0 fr. 40 et 0 fr. 70.

En résumé, les facteurs qui interviennent dans la détermination de ce prix de revient sont :

1° La confection du plan et du projet, y compris l'exploration du sol ;

2° Le prix des tuyaux et celui de leur transport sur les lieux de dépôt ;

3° L'ouverture des tranchées ;

4° Le transport des tuyaux du dépôt sur les lieux d'emploi et, le cas échéant, leur nettoyage ;

5° La pose des tuyaux ;

6° Leur recouvrement et le remplissage des fossés ;



7° L'installation des ouvrages accessoires, des bouches, des regards, etc., l'aménagement de l'émissaire ;

8° Les frais de direction des travaux ;

9° L'achat des terrains qui pourraient être nécessaires ou diverses indemnités ;

10° Les frais divers qui ne rentrent pas dans l'énumération qui précède.

Nous allons brièvement examiner ici l'importance de ces sources de dépenses.

1° Projet et confection du plan. — S'il s'agit d'un drainage de petite étendue, en terrain facile, le propriétaire ou l'agriculteur peut dresser lui-même le plan et établir le projet, pourvu qu'il ait quelques notions du drainage.

Quand il s'agit, au contraire, d'un drainage important, il faut s'adresser à un ingénieur-draineur, et alors la dépense varie suivant les frais de déplacement de cet ingénieur et de ses aides, suivant que le terrain est plus ou moins accidenté, qu'il présente plus ou moins de difficultés à vaincre, etc. Rappelons que le Service des Améliorations agricoles prête son assistance technique aux agriculteurs pour l'établissement des drainages. Il suffit d'adresser une demande au ministère de l'Agriculture (Direction de l'Hydraulique et des Améliorations agricoles).

Lorsque l'opération est faite par une entreprise particulière, on peut compter que la dépense se montera de ce chef de 3 à 5 p. 100 de la dépense totale.

En vertu d'une décision du 30 août 1854, l'étude, la rédaction et la surveillance de l'exécution des projets de drainage sont, en France, à la charge de l'État.

2° Prix des tuyaux. — Il est très variable avec les régions et les fabricants. Nous avons dressé le tableau suivant à l'aide des prix courants qui nous ont été communiqués par des fabricants qui habitent les départements de l'Aisne, du Calvados, du Maine-et-Loire, de la Manche, de Seine-et-Marne et de Seine-et-Oise.

Ces prix s'entendent du mille pris à la fabrique, chaque tuyau ayant 0^m,33 de longueur.



Diamètres.	Poids environ du mille.	Prix du mille.	Prix moyen du mille.
Centimètres.	Kilogrammes.	Francs.	Francs.
4	950 à 1 200	23 à 45	34
5	1 000 à 1 800	40 à 55	48
6	1 300 à 2 000	38 à 65	70
7	2 000 à 2 200	65 à 85	75
8	2 200 à 3 000	50 à 120	85
10	3 000 à 4 000	110 à 150	130
12	3 200 à 5 000	150 à 160	150
13	4 500 à 6 000	180 à 200	190
14	3 500 à 6 600	190 à 275	230
16	5 000 à 7 000	240 à 250	245
18	9 000	280 à 1 000	640
20	6 000 à 13 000	350 à 1 250	800

Ces prix croissent très rapidement, comme on le voit, dès que les diamètres dépassent 10 centimètres. Rappelons qu'on s'arrête généralement au diamètre de 16 centimètres.

Ils s'augmentent naturellement des frais de transport de la fabrique au lieu de dépôt.

Comme il se produit toujours de la casse dans le transport, ou autrement, il faut majorer de 4 p. 100 le nombre des tuyaux à employer. On détermine approximativement ce nombre en se servant des données que nous avons précédemment fait connaître.

3° Ouverture des tranchées. — Son prix dépend de la nature du sol, de la profondeur des tranchées, du diamètre des tuyaux et du prix de la main-d'œuvre.

Mollendorf a donné des chiffres sur la quantité de terre qu'un ouvrier peut extraire par heure en creusant des tranchées de drainage. Ils se rapportent à l'Allemagne. Mais ils peuvent s'appliquer à la France sans risques de trop fortes erreurs. Nous les reproduisons ci-contre (p. 534).

Connaissant le prix de la journée de l'ouvrier et le volume de terre à extraire des tranchées, on calcule facilement, à l'aide de ces données, la dépense que doit nécessiter l'ouverture des fossés.

NATURE DU SOL.	VOLUME EXTRAIT EN UNE HEURE à la profondeur de (en mètres cubes) :		
	0 ^m ,07 à 1 ^m ,57.	1 ^m ,88 à 2 mètres.	jusqu'à 2 ^m ,20.
Sol argileux...	0,21-0,28	0,24-0,26	0,21-0,33
— limoneux...	0,27-0,46	0,31-0,40	0,28-0,37
— sablonneux...	0,52-0,55	0,45-0,47	0,39-0,41
— calcaire. ...	0,31-0,37	0,26-0,33	0,23-0,28
— tourbeux ...	0,55-0,62	0,37-0,52	0,41-0,46

Le volume total de terre à extraire des tranchées est égal à la somme des produits de la section de chaque tranchée par son développement.

La section des tranchées varie, comme on le sait, avec la nature du sol et aussi avec la dimension des tuyaux qu'elles reçoivent. Quoi qu'il en soit, cette section représente toujours un trapèze. Sa surface se mesure donc en multipliant la demi-somme des bases (ouverture et fond de la tranchée) par la hauteur (profondeur de la tranchée).

4° Transport des tuyaux du dépôt sur les lieux d'emploi et, le cas échéant, leur nettoyage. — On peut admettre qu'un ouvrier peut, en une heure de temps, disposer 12 mètres de tuyaux le long des tranchées et, le cas échéant, les nettoyer.

5° Pose des tuyaux. — C'est le travail le plus délicat ; il est confié au chef de chantier, qui est, naturellement, mieux rétribué que les ouvriers.

L'observation prouve qu'en une heure un ouvrier peut placer dans les tranchées à l'aide de la broche :

DIAMÈTRES (en mètres) :	0,05.	0,08.	0,10.	0,13.	0,15.
NOMBRE.....	90-100	100-120	100-110	100-110	90-100

Rappelons, toutefois, que les drains d'un diamètre supérieur à 0^m,08 doivent être, de préférence, placés à la main. On peut compter à peu près le même temps que pour les placer à la broche.

6° Recouvrement et remplissage des fossés. — On admet en général (Perels) que le recouvrement et le remplissage des fossés prennent le sixième du temps qu'a coûté leur ouverture.

7° Installation des ouvrages accessoires, des bouches, des regards, etc. Aménagement de l'émissaire. On ne peut évaluer que dans chaque cas particulier les dépenses que nécessitent la *construction des regards et des bouches, l'aménagement du canal de décharge.*

8° Frais de direction. — Les frais de direction des travaux atteignent 4 à 5 p. 100 de la dépense totale.

Rappelons encore qu'en France l'État les prend à sa charge lorsque les particuliers ou les syndicats lui en font la demande.

9° Achat des terrains qui pourraient être nécessaires, indemnités diverses. — *Frais divers qui ne rentrent pas dans l'énumération précédente* (bornes-repères, usure de matériel, frais de constitution du syndicat, etc.). — Pour tenir compte de tous ces frais et prévenir toute surprise, on majore le prix total estimé jusqu'ici à 10 p. 100.

Il est quelquefois nécessaire de traverser des propriétés voisines pour atteindre le canal de décharge, ou d'acheter des parcelles qui complètent le plan de la surface à drainer. Il faut alors indemniser les propriétaires sur des bases qu'il est impossible de prévoir ici.

Tout ce que nous venons de dire montre combien le prix de revient du drainage dépend des circonstances. On peut estimer qu'il varie entre 250 et 500 francs à l'hectare ; cette dernière évaluation correspond à peu près à un prix de revient de 0 fr. 50 ou 0 fr. 70 le mètre courant.

Un drainage bien fait dure très longtemps. On cite des drainages qui ont plus de cinquante ans d'existence et qui fonctionnent aussi bien qu'au début. Il n'exige que peu de réparations et en somme que peu de soins. Il faut cependant veiller

au maintien en bon état des regards, à celui des bouches et des radiers, des canaux de décharge. Il est indispensable de prendre les précautions que nous indiquons au chapitre spécial qui a trait aux obstructions des drains et aux moyens à employer pour les prévenir (Voy. p. 527 à 531).

B. Bénéfices à attendre du drainage. — Lorsque les terres sont de bonne qualité, qu'elles contiennent les éléments nutritifs nécessaires aux plantes, qu'elles sont situées dans d'heureuses conditions économiques, en un mot que l'excès d'humidité est le seul mal dont elles souffrent, on peut dire que le drainage amène des résultats merveilleux. Les récoltes augmentent en effet dans de très grandes proportions. Et comme l'efficacité des travaux dure très longtemps, cinquante, soixante ans, et peut-être davantage, la durée de l'amortissement du capital engagé est très longue, et, par conséquent, l'annuité qui doit y faire face très faible. D'autre part, les frais d'entretien et les frais supplémentaires de récolte sont à peu près compensés par l'économie que l'on réalise dans le travail de la terre. L'intérêt du capital immobilisé ne conduit pas, par hectare, à une somme importante (8 à 20 francs, en comptant l'intérêt de l'argent à 4 p. 100). Il en résulte que, pour de bonnes terres, le bénéfice net produit par l'opération est toujours considérable. Pour le chiffrer par unité de surface, il suffit de calculer l'augmentation de revenu par hectare, en établissant la différence entre le nouveau produit et l'ancien, et d'en retrancher l'intérêt et l'amortissement de la dépense par hectare. On peut prendre 4 à 5 p. 100 comme taux de l'intérêt de l'argent, et établir l'amortissement sur une période de trente ans au minimum, si les travaux ont été bien exécutés.

Il est difficile de s'exprimer d'une manière très nette sur les terres situées dans des conditions défavorables. Il y a des terres humides, et tellement pauvres en même temps, qu'il vaudrait mieux les mettre en bois ou même les laisser incultes plutôt que d'y faire la dépense d'un drainage. Il y a des prairies médiocres que le drainage a heureusement transformées. On a pu drainer avec profit des terres pauvres, parce que le cultivateur exécutait lui-même les travaux peu à peu et à temps

perdu. A chaque cas particulier convient une solution particulière.

CHAPITRE X

DU CHOIX DES DRAINS.

Il est essentiel de n'employer que des tuyaux de très bonne qualité. Le succès et la durée du drainage dépendent en grande partie de leur choix. S'ils sont incapables de résister longtemps au poids de terre qu'ils supportent, au passage de l'eau, s'ils sont d'une forme défectueuse, le drainage est bien vite compromis. Il suffit qu'un drain vienne à se briser dans une file pour que l'eau glisse au dehors et qu'elle envahisse bientôt la couche arable, faute d'un écoulement suffisant en aval.

Les bons tuyaux ont les qualités suivantes : ils sont bien cuits et rendent un son clair quand on les frappe l'un contre l'autre. Ils n'ont pas de rognons calcaires dans leur pâte, car ces rognons se dissolveraient dans l'eau en laissant à leur place des trous. Ils doivent être rectilignes, sans fentes, à section circulaire bien nette, sans bavures. On doit rejeter les tuyaux qui ont plus de 5 à 6 millimètres de flèche dans le sens de la longueur et plus de 5 millimètres d'ovale dans le sens transversal.

Il faut, autant que possible, les éprouver en les soumettant pendant quelque temps à l'eau et à la gelée. Plongés dans l'eau pendant une dizaine d'heures, leur poids ne doit pas augmenter de plus de 15 p. 100, même si l'on prolonge l'immersion. Leur longueur est de 33 centimètres. Pour un diamètre de 0^m,06, l'épaisseur de la paroi est de 13 millimètres environ. Le poids des mille varie comme il a été indiqué page 533.

Les rognons de chaux apparaissent vite s'il y en a dans la pâte. Les tuyaux doivent résister au froid, quoiqu'ils n'y soient pas directement exposés, puisqu'ils sont placés au moins à 1 mètre au-dessous de la surface du sol.

On les achète généralement chez le fabricant. Mais il peut être opportun de les fabriquer soi-même ou, si l'on se trouve



dans le voisinage immédiat d'une fabrique, de fournir la terre.

Voici, d'après Hervé-Mangon, la composition chimique de quelques terres à tuyaux de bonne qualité :

Silice.....	56,4	47,1	70,0	68,6	70,3
Alumine.....	23,9	18,0	12,4	10,0	7,8
Peroxyde de fer.....	»	12,8	6,0	10,0	10,8
Chaux.....	4,0	0,7	0,7	0,6	0,4
Eau et matières non dosées.....	17,0	20,6	10,9	10,8	10,7
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

En outre, il faut que la terre soit assez plastique et qu'elle sèche sans se déformer par trop. On trouve rarement une terre qui présente l'ensemble de ces qualités, mais on trouve généralement dans le même voisinage les matériaux — terre argileuse et sable — qui permettent de la constituer.

Les tuyaux se fabriquent à la machine. Nous ne pouvons nous arrêter ici à décrire leur fabrication. Aussi bien l'agriculteur les achète-t-il toujours et aussi — la plupart du temps — l'entrepreneur de drainage.

En arrêtant le contrat d'achat, il faut fixer l'époque de la livraison et se réserver de rendre les tuyaux qui auront été reconnus défectueux. Enfin, en principe, malgré la clause déterminant la date de la livraison, il ne faut jamais creuser les tranchées avant d'avoir reçu les tuyaux, à moins que le sol ne présente des qualités qui écartent tout danger d'éboulement des tranchées.

CHAPITRE XI

DRAINAGE A L'AIDE DE FOSSÉS OUVERTS, DE DRAINS EN PIERRES, FASCINES.

I. A l'aide de fossés ouverts. — Ce procédé consiste à découper dans le sol des tranchées dont la section est plus ou moins grande et dont le plafond présente une pente convenable. Elles reçoivent les eaux qui s'écoulent du sol et les conduisent dans un canal collecteur qui débouche



au dehors. L'inconvénient le plus grand de ces fossés, c'est qu'ils absorbent une fraction considérable de la surface, 10 et même jusqu'à 20 p. 100. Peu profonds, ils ne recueillent que les eaux superficielles. Leur effet est alors très limité, encore doivent-ils être suffisamment rapprochés. S'ils atteignent une profondeur assez forte pour agir, ils prennent beaucoup de place, et ils exigent des déblais importants. En terre argileuse, il convient de leur donner 1^m,50 de profondeur.

Avec une pente de $\frac{1}{1,50}$, pente nécessaire au maintien du profil, la largeur de l'ouverture atteint au moins 4^m,50. Des fossés espacés de 24 mètres, écartement raisonnable, absorberont dans ces conditions plus de 20 p. 100 de la surface du terrain. Mais ce n'est pas là le seul inconvénient du système d'assainissement par fossés ouverts. Ces fossés gênent la circulation, l'emploi des machines ; ils nécessitent des ponceaux dont la construction et l'entretien sont toujours assez coûteux. En outre, il faut les curer régulièrement, couper les herbes qui les envahissent. Puis ils forment de véritables foyers de propagation des champignons et des germes nuisibles non seulement aux plantes, mais aux hommes et aux animaux. Les mauvaises herbes y pullulent, leurs semences infestent les champs riverains. Les souris, les mulots et autres petits animaux y trouvent asile. Ils creusent leurs parois, en déterminent l'éboulement et ajoutent ainsi de nouveaux dommages à ceux qu'occasionne leur présence. A ce procédé d'assainissement, il convient donc de préférer le drainage, chaque fois que les circonstances permettent de choisir.

Mais il a cependant des avantages qui le recommandent dans certains cas. Abstraction faite de la valeur du terrain qu'il confisque, c'est le procédé le plus économique qui soit. Puis, qualité qui peut l'imposer parfois, il n'exige pour fonctionner qu'une très faible pente. Enfin c'est lui qui assure l'écoulement le plus rapide des eaux superficielles.

On l'emploiera pour assainir de larges vallées, à faible pente, envahies au printemps par les hautes eaux de la rivière, ou submergées par des pluies persistantes. On ne peut, dans ces conditions, lui opposer le drainage. Il s'impose aussi quand on



est obligé de faire varier le niveau de la nappe souterraine ; de l'élever pendant les grandes chaleurs, lorsque le terrain est trop sec ; de l'abaisser, au contraire, au moment des grandes pluies. On place alors un barrage approprié en travers du canal, collecteur principal, et on le manœuvre en temps voulu. L'obturation plus ou moins complète d'un drainage en poterie amènerait bien vite l'obstruction de tout le système.

C'est encore lui qui convient lorsqu'il s'agit de dessécher soit de vastes territoires comme ceux qui constituent le sol hollandais, soit des marécages de grande surface. Il est évident que, dans ces circonstances, la valeur du sol absorbé par les fossés est peu de chose, vis-à-vis celle de la totalité du terrain gagné. En outre, il faut absolument employer le procédé d'assèchement le plus économique. Les fossés forment alors un réseau qui enserre toute la surface. On y distingue un canal principal et des canaux d'ordre secondaire. Le premier occupe la partie la plus basse du territoire. Il reçoit les eaux que lui amènent les canaux secondaires, qui se greffent les uns sur les autres ; ceux du dernier rang recevront directement les eaux d'égout du sol. L'ensemble de ce système figure assez exactement un arbre avec le tronc, les branches et les rameaux. Un canal de ceinture borde le périmètre du territoire. Il empêche les eaux de dehors d'y pénétrer. Il reçoit quelquefois les eaux de l'intérieur, qu'un émissaire conduit à la rivière, au fleuve ou à la mer.

Les tranchées ouvertes s'emploient encore avec avantage pour assainir les prairies humides et pour recevoir les eaux d'irrigation après qu'elles ont traversé la terre.

Quand il s'agit de faire disparaître l'eau qui transforme un pré en marécage, le premier soin consiste à intercepter l'arrivée des eaux qui découlent des parties supérieures. On y arrive au moyen d'un fossé de circonvallation qui débouche à ses extrémités, soit dans un ruisseau, soit dans une rigole d'arrosage, lorsque le pré est irrigué. On trace ensuite des fossés de 30 à 40 centimètres de profondeur au moins. Ces fossés sont dirigés suivant la plus grande pente. Ils sont donc perpendiculaires à la direction des courbes de niveau horizontales, c'est-à-dire à celle des rigoles d'arrosage. Le séjour des flaques d'eau in-



dique naturellement les endroits où doivent passer les rigoles. Elles doivent être d'autant plus rapprochées que le terrain est plus humide. On doit les nettoyer avec soin et les approfondir chaque année, en mars ou avril.

Nous avons indiqué, à propos des irrigations (Voy. p. 220 à 230), comment on peut déterminer approximativement la pente et la section de ces fossés, lorsqu'ils doivent débiter une quantité d'eau donnée.

II. A l'aide de drains en pierres, en fascines, en gazons, etc. — Les anciens, comme nous l'avons dit, connaissaient déjà l'emploi des drains en pierres : c'était un perfectionnement aux tranchées ouvertes. Après les agronomes latins, Olivier de Serres a décrit ce procédé avec soin dans son *Théâtre de l'Agriculture*. Smith (de Deanston) inventa vraiment le drainage moderne, en tant qu'il est caractérisé par l'emploi de drains fréquents et régulièrement espacés. Il préférait les petites pierres aux tuiles et aux tuyaux. Mais on reconnut bien vite les avantages qu'offrent sur les drains en pierres les tuyaux de poterie. Et ceux-ci s'emploient exclusivement aujourd'hui. On a quelquefois intérêt à se servir du vieux système de drainage. Cela arrive dans les terres où les pierres abondent. Les faire disparaître, c'est déjà réaliser une amélioration. Et c'est double profit quand ces pierres peuvent servir à débarrasser le sol des eaux nuisibles. C'est ainsi que l'on emploie souvent ce procédé dans les pays granitiques et en terrain de montagne. Pour agir avec une énergie suffisante, il faut que les tranchées soient poussées jusqu'à une profondeur de 1^m,50 ou même 2 mètres. Elles ont de 0^m,20 à 0^m,40 de large en bas ; 0^m,60 à 0^m,80 à l'ouverture. Ou bien, les pierres sont jetées dans la fosse ; ou bien, à l'aide des plus belles on construit des sortes de petits canaux ou aqueducs. Les figures 169 à 171 indiquent différents modèles de drains en pierres. Les drains avec rigole intérieure, tels que ceux représentés par les figures 175 et 176, demandent beaucoup de temps et de l'habileté. On doit préférer des drains à pierres perdues ; ils valent même mieux que les tuyaux pour drainer des terres parsemées de pierres ou de cailloux, en particulier des prés : On fait alors l'opération dans des conditions très pratiques.



Mais, comme les cailloux opposent au mouvement de l'eau une résistance énergique, il est indispensable que les tranchées aient une forte pente; sans quoi les drains ne fonctionneraient pas. Il faut donner autant que possible 1 centimètre de pente par mètre. Les plus grosses pierres que l'on emploie doivent pouvoir passer à travers les mailles d'un erible écartées de 7 millimètres. On casse au besoin celles que l'on ramasse, mais dans un chantier spécial afin de ne pas abîmer le terrain. Trop grosses, elles empêcheraient la circulation de l'eau en formant dans la tranchée de véritables barrages.

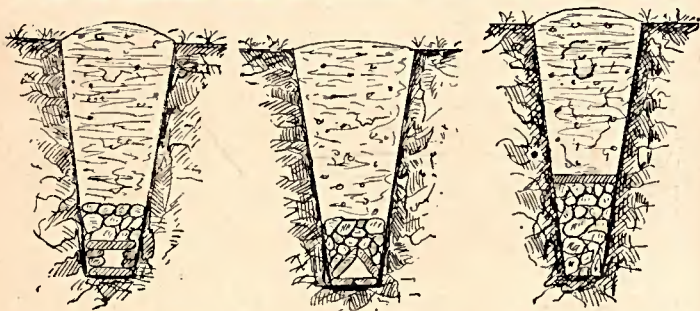


Fig. 174. — Drain à pierres perdus.

Fig. 175. — Drain en pierres, avec canal intérieur.

Fig. 176. — Drain en pierres avec canal intérieur.

Hervé-Mangon recommande de se servir d'un crible spécial dont la table s'incline vers le fond de la tranchée et que l'on transporte de place en place. Les plus grosses pierres tombent au fond du fossé. On achève de le combler avec les plus petites, de manière que la hauteur empierrée atteigne 0^m,30 ou 0^m,40. On pilonne l'empierrement avec une dame en bois, de manière à le rendre aussi compact que possible, et on achève de remplir le fossé avec la terre qui en avait été extraite. Il ne faut pas recouvrir les pierres de paille ou de gazon; les détritiques organiques se glisseraient entre les pierres et obstrueraient bientôt le drainage. Ce mode de drainage a rendu autrefois — et peut encore rendre — des services dans les pays où le terrain est parsemé de cailloux et où il est difficile de se procurer des tuyaux de terre cuite.



Les tuiles creuses reposant sur des tuiles plates, le *tile-drainage*, paraissent avoir été employées pour la première fois, en Angleterre, vers 1810, dans le Cumberland. C'était un perfectionnement considérable sur les anciens systèmes et l'origine des tuyaux. La figure 177 montre le dispositif que l'on peut adopter lorsqu'on ne peut trouver des tuyaux de drainage et qu'on a, au contraire, des tuiles sous la main. Il est nécessaire que la tuile courbe repose sur une tuile plate ; sans cet appui, elle s'enfoncerait plus ou moins dans le sol, sous la poussée des terres, et le drainage serait vite compromis.

Autrefois, avant l'invention du drainage moderne, on établissait des drains en terre, dans les sols très argileux ou dans les



Fig. 177. — Drain formé de tuiles courbes et plates.

tourbières. On creusait, au fond d'une tranchée, une rigole qu'on recouvrait d'une plaque de gazon, puis de la terre qui avait été extraite. Ce procédé est impraticable dans les terres légères.

Dans les pays de tourbières, qui sont presque toujours inondés, on se sert avec succès de la tourbe elle-même comme matériel de drainage. On forme un canal pour l'égouttement des eaux au fond de la tranchée, en superposant deux blocs de tourbe disposés comme l'indique la figure 173. On a découpé dans chacun d'eux une ouverture demi-circulaire à l'aide de l'outil représenté par la figure 179.

Un ouvrier peut découper 2 000 à 3 000 de ces blocs par jour. Pendant deux ou trois semaines, ils doivent sécher sur le sol au soleil, puis rester en tas encore pendant le même temps, exposés à l'action de l'air. Ainsi préparés, ils résistent parfaitement à l'eau. On peut aussi fabriquer des tuyaux de drainage avec de la tourbe. On pratique, à l'aide d'une machine, un trou cylindrique à l'intérieur d'un bloc de tourbe qui est soumis à une pression énergique. Les drains de tourbe sont avantageux à employer dans les pays de tourbières qui manquent de tuyaux d'argile.



Enfin on remplace quelquefois les drains par des fascines. Cela se faisait surtout autrefois en Allemagne et en Suisse.

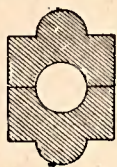


Fig. 178. — Drain formé par des blocs de tourbe.

Nous pouvons en indiquer la construction ; mais il n'y faut recourir que dans les cas où l'on ne peut trouver ni pierres, ni tourbe, ni tuyaux de poterie.

L'un des procédés consiste à placer au fond des tranchées, qui n'ont guère ici que 0^m,55 à 0^m,80, les fascines toutes préparées et à les recouvrir de gazon, puis de la terre qu'on a extraite. On fabrique les fascines sur un métier en bois formé de 3 ou 4 croisillons, espacés de 1 mètre environ les uns des autres. On jette sur ces croisillons des branchages dégarnis de feuilles en quantité suffisante pour faire le saucisson. Un ouvrier serre énergiquement la fascine avec une corde munie à ses extrémités d'un manche, tandis qu'un autre la lie avec une hart de bois flexible, préalablement passée au feu.

On peut aussi construire ces drains en déposant les fascines sur des croix de Saint-André en bois, placées de distance en distance dans les fossés. Pour faire ces croix de Saint-André, on emploie des rondins de branche de saule encore vert. Pour les fascines, on se sert de branches de saule, d'aune ou de bouleau. Les bois aquatiques se conservent très bien dans l'eau, lorsqu'ils sont employés encore verts. Il y a de ces drainages qui ont duré quinze et seize ans. On peut les recommander pour les prés et pâturages de montagne. Certains auteurs prétendent que ces drains peuvent être meilleurs que les drains en pierre, parce que ceux-ci, une fois remplis de terre et de débris organiques, ne fonctionnent plus, tandis que, même pourries, les fascines laissent encore passer l'eau.



Fig. 179. — Outil à découper des drains dans la tourbe.

II. — ASSAINISSEMENT DES TERRES QUI REÇOIVENT LES EAUX TOMBÉES SUR DES TERRAINS PLUS ÉLEVÉS.

CHAPITRE XII

MÉTHODES DIVERSES D'ASSAINISSEMENT.

A. Assainissement des grandes surfaces. — 1° *A l'aide de fossés ouverts.* — S'il est moins énergique que le drainage proprement dit, ce procédé coûte beaucoup moins cher. C'est le seul qu'on puisse indiquer pour assécher les territoires de grande surface et de très faible pente. Il se recommande donc dans les circonstances suivantes.

1° Pour les grandes étendues à peu près plates, riveraines de cours d'eau, qui, grossis au printemps, déterminent des infiltrations, où il est nécessaire de se débarrasser très vite des pluies et d'abaisser suffisamment le plan d'eau afin d'exécuter les travaux agricoles. C'est la situation à peu près générale du territoire hollandais. Les eaux s'égouttent dans des fossés qui les réunissent dans des bassins d'où, à l'aide de machines, elles sont jetées à un canal. Celui-ci les conduit soit à un cours d'eau, soit directement à la mer.

2° Lorsqu'il s'agit de vastes espaces qu'il faut assainir à peu de frais. C'est en effet le procédé le plus économique, malgré les quelques pontceaux que l'on doit construire pour permettre aux véhicules agricoles de passer. Et, si le sol n'a que peu de valeur, le terrain absorbé par les fossés n'a pas grande importance.

3° Dans le nord de l'Angleterre, en Écosse surtout, on assainit les pâturages qui occupent les flancs des montagnes en y creusant des tranchées. C'est ce que les Anglais appellent le *sheep drainage* (drainage à moutons), parce qu'il préserve les moutons qui vivent sur ces prés des maladies provoquées par l'humidité. On creuse à la bêche, en commençant par le bas, une longue tranchée suivant la plus grande pente du sol. De place en place, à droite et à gauche, à une distance variable avec la nature des terres et la pente, on trace des fossés plus petits, mesurant au plafond 0^m,20 et 0^m,30 environ de profondeur, suivant à peu près l'horizontale. Ces fossés recueillent les eaux pluviales qui ruissellent à la surface du sol et celles qui se sont infiltrées, et ils les envoient dans la tranchée qui sert de collecteur. Celle-ci les rejette au dehors.

4° Ce procédé se recommande aussi lorsque la nature du sol et le climat sont tels que, s'il est nécessaire d'enlever à certaines époques l'excès de l'eau, il est utile à d'autres, au moment de la sécheresse, de relever le plan d'eau. C'est ce qui se passe parfois dans l'exploitation des tourbières, qui, dans tous les cas, sont justiciables du dessèchement par fossés ouverts. On place alors un barrage approprié en tra-

vers du canal, collecteur principal, et on le manœuvre en temps voulu. L'obturation plus ou moins complète d'un drainage en poterie amènerait bien vite son obstruction ;

5° A ce mode d'assainissement se rattache plus ou moins l'ancien procédé des *billons*. Il consiste, on le sait, à cultiver les sols en planches plus ou moins larges séparées par des *dérayures*. Le billon est bombé, son sommet occupant le milieu de la planche. Les racines des plantes sont ainsi surélevées en quelque sorte. Les eaux pluviales se réunissent dans les dérayures qui les envoient dans les fossés qui bordent les chemins. C'est un procédé très défectueux qui, en bien des pays, fut longtemps le seul moyen d'assainissement. Il disparaît peu à peu.

Avantages et inconvénients des fossés ouverts. — Nous venons de voir dans quelles conditions ce mode de dessèchement est recommandable. Il ne convient guère qu'aux très grandes surfaces. Aussi les entreprises auxquelles il donne lieu sont-elles du ressort de l'État ou de grandes compagnies, et nous ne pouvons pas en parler longuement dans cet ouvrage.

L'inconvénient le plus grand des fossés, c'est, nous l'avons déjà dit (p. 539), qu'ils absorbent une fraction considérable de la surface, 10 et même jusqu'à 20 p. 100. Peu profonds, ils ne recueillent que les eaux superficielles. Leur effet est alors très limité ; encore doivent-ils être suffisamment rapprochés. S'ils atteignent une profondeur assez forte pour agir, ils prennent beaucoup de place, et ils exigent des déblais importants. En terre argileuse, il convient de leur donner 1^m,50 de profondeur. Avec une pente de $\frac{1}{1,5}$, pente nécessaire au maintien du

profil, la largeur de l'ouverture atteint au moins 4^m,50. Des fossés espacés de 24 mètres, écartement raisonnable, absorberont dans ces conditions plus de 20 p. 100 de la surface du terrain. Mais ce n'est pas là leur seul inconvénient. Ils gênent la circulation, l'emploi des machines ; ils obligent à construire des ponceaux. En outre, il faut les curer régulièrement, couper les herbes qui les envahissent. Puis ils forment de véritables foyers de propagation des champignons et des germes nuisibles non seulement aux plantes, mais aux hommes et aux animaux. Les mauvaises herbes y pullulent ; leurs semences infestent les champs riverains. Les souris, les mulots et autres petits animaux y trouvent asile. Ils creusent leurs parois, déterminent l'éboulement et ajoutent ainsi de nouveaux dommages à ceux qu'occasionne leur présence. A ce procédé d'assainissement, il convient donc de préférer le drainage chaque fois que les circonstances permettent de choisir.

Tracé des fossés. — Le canal principal, qui réunit les eaux de la surface versante, doit être placé dans sa partie la plus basse, le long du *thalweg*. Il amène les eaux soit directement à l'*émissaire* (cours d'eau ou canal) qui les conduit au loin, soit à un *bassin*, d'où elles sont envoyées, par une machine, en temps opportun, à l'*émissaire*. De part et d'autre du canal principal, s'il y a lieu, se greffent les *fossés d'assèchement* proprement dits, de dimensions moindres. Ils reçoivent



directement les eaux du sol et sont dirigés à peu près parallèlement aux courbes horizontales du terrain. Si celui-ci est exposé à recevoir les eaux d'un bassin voisin, on l'en isole à l'aide d'un *canal de ceinture* qui, fréquemment, en Hollande au moins, sert de réservoir aux eaux du collecteur principal.

La profondeur moyenne à laquelle il faut abaisser le plan d'eau dépend des cultures. On peut admettre les chiffres suivants : terres arables, 0^m,80 ; prairies, 0^m,50 ; jardins, 1^m,25.

La hauteur minima de l'eau dans les fossés les plus petits doit être de 0^m,10. Ce chiffre et les précédents, permettent de déterminer la profondeur des différents fossés et du collecteur principal. De la profondeur de ce collecteur et du niveau de l'eau dans l'émissaire dépendent les pentes du collecteur et des fossés. Il faut se baser sur le niveau de l'eau dans l'émissaire au débouché du collecteur et au printemps qui est l'époque où le dessèchement fonctionne avec le plus d'intensité. Les fossés de dessèchement seront placés à des distances les uns des autres qui varieront suivant la pente du sol et le degré de perméabilité du terrain.

On donnera aux talus du collecteur principal et, s'il y a lieu, à ceux des collecteurs de deuxième ordre une pente telle qu'ils puissent fournir de l'herbe pour compenser le terrain perdu. On adoptera les pentes indiquées ci-après :

$\frac{1}{1,50}$ terres argileuses.	$\frac{1}{2}$ terres sablonneuses.
$\frac{1}{1,50}$ terres franches.	$\frac{1}{2,5 \text{ à } 3}$ terres sablonneuses et creuses.

Calcul des dimensions des canaux et fossés. — Il convient, en premier lieu, de calculer la quantité d'eau maxima qu'il faut évacuer du bassin et que doit porter le canal principal jusqu'au point où il aboutit au réservoir intermédiaire ou à l'émissaire. On ne considère ici que les eaux pluviales, et l'on ne s'occupe pas des eaux souterraines, qui sont d'ailleurs en grande partie écartées par le canal de ceinture.

Soient : S la surface en hectares du territoire que l'on se propose d'assainir ; h la hauteur en mètres de pluie tombée ; $\frac{1}{n}$ la fraction en mètres, aussi, de cette hauteur d'eau qui est évaporée par l'air, par les plantes et qui est entraînée par le ruissellement. La quantité d'eau à évacuer exprimée en litres est :

$$S \times 10\,000 \times h \times 1\,000 \left(1 - \frac{1}{n}\right),$$

et, s'il faut enlever ce volume d'eau en T secondes, le débit Q du canal principal doit être :



$$Q = S \times \frac{10\,000\,000 \times h}{T} \left(1 - \frac{1}{n}\right).$$

Nous avons dit (p. 445) que la valeur adoptée généralement pour $\frac{1}{n}$ semble trop considérable, parce que l'on fait abstraction de l'évaporation des plantes qui recouvrent le sol pendant une partie de l'année. Si cette observation peut présenter un certain intérêt quand il s'agit d'un drainage avec des tuyaux dont le prix de revient est toujours élevé, ici, elle en a beaucoup moins. On prend donc des chiffres maxima.

S'il s'agit de terrains à très faibles pentes, le ruissellement y est faible. Au commencement de mars, la température est encore basse, l'air humide; l'évaporation est à peu près nulle. Se basant sur ces considérations, Friedrich admet qu'à cette époque de l'année on peut donner à $\frac{1}{n}$ la valeur 0.

Et il estime qu'au printemps le terrain sera suffisamment sec si l'on parvient à évacuer du milieu à la fin de mars, soit en quatorze jours, la quantité d'eau que donnent, à cette époque, les pluies et la fonte des neiges, soit une hauteur d'eau de 0^m,10. Le débit en litres à la seconde du canal principal devra donc être :

$$Q = \frac{10\,000\,000 \times 0^m,100}{14 \times 24 \times 60 \times 60} = 0^l,82.$$

En ce qui concerne l'été, Friedrich admet qu'il est prudent de donner au canal des dimensions assez grandes pour évacuer en sept jours seulement, à cause de l'état de la végétation, la hauteur d'eau qui correspond au plus fort orage observé, soit 4 millimètres par heure pendant vingt-quatre heures. Il admet, en outre, que le ruissellement entraîne 35 p. 100 de cette quantité d'eau et l'évaporation 5 p. 100, qu'il n'en reste donc que 60 p. 100 qui pénètre dans le sol. Le débit du canal doit être alors par seconde et pour 1 hectare :

$$Q = \frac{10\,000 \times 0,004 \times 24 \times 1\,000 \times 60}{7 \times 24 \times 60 \times 60 \times 100} = 0^l,95.$$

On voit donc qu'en adoptant le chiffre maximum de 1 litre pour le débit en toute saison on agira avec toute la prudence nécessaire. Il s'agit ici de terres arables.

Pour des prairies, il n'y a pas péril à laisser l'eau séjourner plus longtemps. L'évacuation pourra donc durer trois semaines, et le débit du canal descend à 0^l,60.

Ainsi, lorsque l'on ne pourra pas déterminer les éléments h , $\frac{1}{n}$ et T qui entrent dans la formule précédente, on admettra avec toute sécurité que le débit q du canal principal en litres et à la seconde doit être

Pour les terres arables de 1 litre. } par hectare de
 Pour les prairies de 0,60..... } surface versante.

Le débit et la pente du canal principal étant connus, on calculera facilement ses dimensions, puis celles des fossés du troisième ordre. On suivra la marche indiquée pages 220 à 230. Observons que dans les calculs on n'envisagera que la profondeur réelle de l'eau, qui doit être au minimum de 0^m,10, et non la profondeur du fossé.

Évacuation des eaux. — Lorsque dans l'émissaire, canal, rivière, etc., le niveau de l'eau est constamment plus bas que dans le canal principal, celui-ci s'y décharge directement en tout temps, par la seule gravité. C'est l'*écoulement continu*. Si le niveau de l'eau dans l'émissaire n'est pas constant, qu'il s'élève parfois au-dessus du niveau de l'eau dans le canal principal, par exemple si l'émissaire est soumis à l'action de la marée, il faut fermer le collecteur par des vannes pendant les hautes eaux et l'ouvrir pendant les basses eaux. L'*écoulement est alors discontinu*.

Enfin, si le niveau de l'eau du canal principal est constamment inférieur à celui de l'émissaire, il faut recourir à l'*élévation mécanique*.

L'*émissaire* reçoit les eaux du collecteur principal et les emmène au loin. Ce peut être un fossé, un cours d'eau ou un canal. Il faut, dans l'un et l'autre cas, s'assurer qu'il a un débit capable d'évacuer toutes les eaux de la surface versante et les siennes au moment où la masse des eaux est maxima, c'est-à-dire au printemps. S'il n'est pas suffisant, ou si son cours est trop sinueux, on le *corrige* en l'approfondissant ou en creusant à côté un *canal* qui se substitue à lui pendant une partie plus ou moins longue de son parcours. Dans tous les cas, il faut soigneusement l'entretenir par les curages et faucardements nécessaires.

Quantité de travail nécessitée par l'élévation mécanique des eaux. — Soient : Q, la quantité d'eau qu'il faut évacuer à la seconde et par hectare (Voy. p. 548) ; H, la hauteur totale en mètres à laquelle il faut : 1° aspirer, 2° refouler cette eau ; S, l'étendue de la surface versante ; T, la quantité théorique de travail nécessaire en chevaux-vapeur pour élever à la hauteur H la quantité totale d'eau = 1 000 H Q S.
 QS, exprimée en mètres cubes ; on a : $T = \frac{1\,000 H Q S}{75}$.

Mais T, travail utile, est inférieur au travail moteur T_m. Si donc K est un nombre plus petit que 1, on a : $T_m = K \frac{1\,000 H Q S}{75}$.

Le coefficient K varie avec les diverses machines d'épuisement, dont il mesure le rendement, et avec la hauteur H. Nous renvoyons, pour la description de ces machines et l'étude de leur rendement, au volume de M. Coupan qui leur est consacré dans cette *ENCYCLOPÉDIE*.

2° Colmatage. — On peut dessécher un marais en élevant peu à peu le sol au-dessus du niveau des eaux voisines, de manière qu'il s'égoutte dans leur bassin. Ce mode d'assainissement convient aux terrains qui présentent des dépressions sans issue où les eaux plu-



viales restent stagnantes ; à ceux qui sont à un niveau trop bas pour que les eaux surabondantes puissent s'écouler dans la rivière voisine ; enfin aux territoires qui sont submergés par des crues fréquentes.

Il est clair que l'on peut songer à remblayer à la manière ordinaire l'espace qu'ils s'agit de dessécher. Mais les cours d'eau voisins, s'ils sont suffisamment limoneux, peuvent transporter et faire le dépôt, dans des conditions économiques, du précieux remblai qu'il serait impossible d'aller chercher ailleurs. Le *colmatage* (de l'italien *colmare*, *combler*) consiste à faire arriver sur le terrain à assainir des eaux troubles, à les y laisser déposer et à les évacuer lorsqu'elles se sont éclaircies.

Cette méthode est employée en Italie depuis fort longtemps.

La rapidité des résultats que l'on peut obtenir dépend des eaux que l'on utilise pour le colmatage et de l'époque à laquelle se poursuit l'opération. Avec certaines eaux, on ne peut obtenir dans le cours d'une saison qu'une couche de 1 à 2 centimètres d'épaisseur, tandis que quelques rivières très chargées de matières terreuses, comme le Var, donnent un exhaussement qui atteint jusqu'à 10 et 20 centimètres dans l'année. Mais le colmatage n'a pas seulement pour résultat l'exhaussement progressif du sol colmaté jusqu'au-dessus du niveau des eaux voisines ; il amène en outre la constitution d'un sol fertile dont la richesse dépend de celle des limons apportés, mais qui est toujours très appréciable.

De même qu'il y a une transition insensible entre les matières dissoutes et les matières en suspension dans l'eau, il y a une transition graduelle entre les irrigations et les *limonages* ou *colmatages*.

Telle rivière claire et limpide comme du cristal, en temps ordinaire, fournit aux plantes l'eau dont elles ont besoin et les substances qu'elle a dissoutes : elle *irrigue*. Mais, en certaines saisons, après des pluies torrentielles, cette rivière devient trouble et limoneuse, et alors elle *peut servir à colmater*. Les colmatages peuvent donner lieu à de grands travaux, qu'il appartient à l'État d'entreprendre.

UTILITÉ DES COLMATAGES. — Les colmatages ne constituent pas seulement un procédé ingénieux pour assainir un terrain marécageux en l'élevant peu à peu au-dessus du niveau des eaux ; ils atteignent à un second résultat qui n'est pas moins intéressant : ils retiennent au profit des continents les masses considérables de terres fertiles que les rivières et les fleuves entraîneraient à la mer.

En dirigeant les eaux chargées de limon sur les graviers et les sables qui couvrent de grandes surfaces au voisinage des fleuves, par exemple de la Moselle, et en les laissant déposer, on transforme des grèves arides en terres fertiles. Avec le temps, on peut obtenir des sols labourables. S'il est impossible d'attendre, on peut assez vite créer des prairies artificielles. Celles-ci ne sont pas exigeantes sous le rapport de l'épaisseur de la couche végétale, pourvu que l'on puisse les irriguer.

EXÉCUTION DES COLMATAGES. — Un *canal d'amenée*, greffé sur le cours d'eau, conduit les eaux limoneuses sur le terrain qu'il s'agit de colmater. Après qu'elles ont déposé les matériaux dont elles sont chargées, un second canal, dit *canal d'évacuation*, les emmène.



Il est nécessaire de donner au canal d'amenée une section et une pente telles que ce canal ne laisse pas déposer, avant leur arrivée sur le terrain à colmater, les matériaux solides que l'on désire recueillir. L'expérience a montré que, au-dessous d'une vitesse de 30 centimètres par seconde, l'eau abandonne les sables fins qu'elle charrie, et qu'au-dessous de 15 centimètres elle laisse déposer les limons. On en a déduit, d'une manière approximative, que des canaux d'amenée à grande section doivent avoir une pente de 0^{mm},5 par mètre et que les canaux de petite dimension, qui se réduisent souvent à de simples fossés, doivent avoir au moins 3 ou 4 millimètres de pente, lorsque l'on ne cherche à recueillir que les limons.

Mais, si l'on tient aussi à recueillir les sables fins, il convient de donner 2 millimètres de pente aux grands canaux et 1 centimètre aux plus petits.

Le canal d'amenée se greffe la plupart du temps directement sur le cours d'eau limoneux. Ce dernier peut être un canal d'irrigation et traverser le territoire soumis au colmatage. C'est la circonstance la plus avantageuse que l'on puisse rencontrer.

Le colmatage présente de sérieuses difficultés lorsqu'il ne s'agit que de profiter de la richesse en éléments de fertilité des matériaux charriés par les eaux et lorsque celles-ci sont au-dessous du niveau des terres à améliorer. Il faut alors élever les eaux à l'aide de machines. On fait aboutir le tuyau d'aspiration dans le cours d'eau, plus ou moins bas suivant que l'on désire recueillir des éléments grossiers ou fins.

Dans d'autres circonstances, il faut creuser un long canal d'amenée et traverser, moyennant indemnité, des propriétés étrangères. Il est clair que les frais qui en résultent peuvent rendre onéreuse l'opération.

Le canal d'évacuation conduit les eaux clarifiées dans le cours d'eau ou dans des fossés qui aboutissent à une décharge.

Le colmatage peut s'opérer de deux manières différentes : il peut être *intermittent* ou *continu*.

Colmatage intermittent. — Le colmatage intermittent n'est recommandable que pour des surfaces à peu près horizontales, telles que des marais. On entoure la surface à colmater d'une digue en terre d'une hauteur convenable, protégée, à l'extérieur, contre les infiltrations, par un fossé de ceinture. Les eaux limoneuses sont introduites dans le bassin sur une épaisseur voisine de 1 mètre, autant que possible. On les laisse déposer douze ou vingt-quatre heures, suivant leur richesse en limon. Puis on les évacue. L'opération est recommencée jusqu'à ce qu'on ait obtenu l'élévation de niveau qui a été jugée nécessaire. On comble ainsi le marais et on en recouvre le fond d'une couche de terre qui est souvent très fertile. Parfois, en quelques années, on arrive à le surélever de 40 ou 50 centimètres. De la sorte, l'ancien marais peut égoutter facilement ses eaux. Il est à l'abri des crues et des infiltrations.

La partie de la digue de ceinture qui aboutit au canal d'évacuation est pourvue d'un dispositif spécial. C'est par ses couches superficielles que doit s'écouler l'eau éclaircie, autrement elle entraînerait

avec elle les particules terreuses qui se sont déposées. Il faut donc pratiquer à la crête de la digue de larges coupures horizontales. Avant l'arrivée des eaux limoneuses, on les referme à l'aide de planches, de gazons et de piquets. Il vaut mieux employer un barrage mobile en bois. De longs madriers, de 4 à 5 mètres, se superposent, maintenus entre les rainures de deux poteaux verticaux. On enlève ces pièces de bois au fur et à mesure que baisse le niveau de l'eau éclaircie.

Colmatage continu. — Comme nous l'avons dit, le colmatage intermittent n'est applicable qu'aux terrains dont la surface est à peu près horizontale. Appliqué à des surfaces qui présenteraient une certaine pente, il exigerait des digues d'une hauteur déraisonnable. En outre, il a l'inconvénient de nécessiter la mise en mouvement de masses d'eau énormes. Une couche d'eau de 0^m,70 d'épaisseur répandue sur le terrain à colmater représente en effet, par hectare, 7 000 mètres cubes. Il faut évacuer ce volume considérable toutes les douze ou vingt-quatre heures et le remplacer par un volume égal d'eaux chargées de limons. Il en résulte fatalement une perte de temps très sensible dans la marche de l'opération.

Puis des remous se produisent qui peuvent nuire à la régularité des dépôts. Le colmatage continu n'a pas ces inconvénients, mais il est plus coûteux, parce qu'il donne lieu à des travaux plus importants.

Il consiste, en principe, à laisser circuler très lentement les eaux limoneuses sur le terrain à colmater qui a été préalablement divisé en compartiments ou bassins de surface raisonnable. Cette circulation s'effectue de telle sorte que chaque bassin reçoive du compartiment qui le précède un volume d'eau égal à celui qu'il cède au compartiment qui le suit. Le premier bassin, en tête du colmatage, est en communication directe avec le canal d'amenée; le dernier aboutit au canal d'évacuation.

Grâce à la douceur du mouvement d'écoulement des eaux, les matières solides qu'elles charrient se déposent peu à peu. Le bassin qui forme la tête du colmatage se comble le premier. Dès que ce premier résultat a été atteint, on prolonge le canal d'amenée jusqu'au second bassin, qui devient à son tour tête du colmatage, et ainsi de suite jusqu'au dernier.

L'aménagement du terrain dépend de la pente.

1^o *Terrain horizontal.* — On commence par tracer un fossé BCDE (fig. 180) autour de l'espace à colmater. Ce fossé retiendra les eaux d'infiltration. Il fournit la terre nécessaire à la construction d'une digue de 60 à 70 centimètres de hauteur moyenne, qui retiendra les eaux. On partage ensuite le bassin ainsi formé en une série de compartiments à l'aide des digues *a, a', a''*. Ces digues seront élevées de 50 centimètres au-dessus du sol. Leur ligne de faite sera parfaitement horizontale. Chacune d'elles sera munie d'un long déversoir, de manière à laisser les eaux s'écouler en tranches minces dans le compartiment voisin. Comme nous l'avons dit déjà, le premier compartiment recevra la plus grande quantité du limon contenu dans les eaux. Lorsqu'on le

jugera suffisamment comblé, on élèvera la digue *a* de manière que les eaux ne puissent plus s'écouler vers l'aval. Et l'on prolongera le canal d'amenée jusqu'au second compartiment. On continuera de la sorte jusqu'à ce que le dernier compartiment soit colmaté. Quelques traits de charrue suffiront ensuite pour abattre les crêtes des digues transversales et aplanir le terrain.

2° *Terrain incliné.* — L'aménagement du terrain est le même.

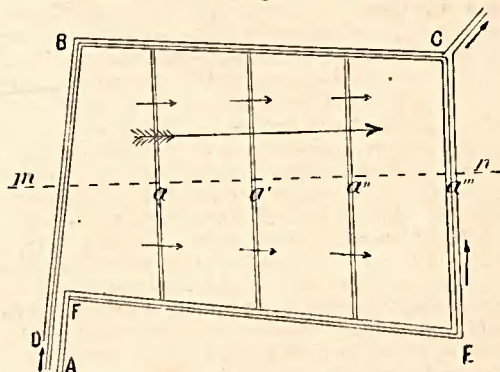


Fig. 180. — Plan d'un champ en terrain horizontal disposé pour le colmatage.

Mais les crêtes des digues transversales ne sont plus à peu près situées dans le même plan horizontal. Elles occupent des plans horizontaux différents, écartés les uns des autres, verticalement, de 10 à 20 centimètres. Ces digues secondaires seront d'autant plus rapprochées que



Fig. 181. — Coupe suivant la ligne *mn* de la figure précédente.

la pente du terrain sera plus forte. La figure 181, qui représente une coupe du terrain, suivant la ligne *mn* de la précédente figure, indique clairement cette disposition.

Quant à la conduite du colmatage, elle est absolument la même que dans le cas d'un terrain horizontal.

Il est clair que cette méthode est applicable à un terrain de forme et de surface quelconques. En pratique, les digues transversales occupent la place des courbes de niveau. Leurs crêtes horizontales reproduisent donc également des courbes.

TRAVAUX DE COLMATAGE EXÉCUTÉS EN FRANCE ET EN ITALIE. — C'est en Italie que la pratique des colmatages a pris naissance, et c'est dans ce pays qu'elle a donné lieu aux travaux les plus remarquables. D'une statistique dressée en 1878 résulte qu'à cette époque près de 25 000 hectares de terres marécageuses avaient été améliorés par le colmatage, et que plus de 53 000 hectares étaient en voie de transformation. On peut citer particulièrement les colmatages du val de Chiana, en Toscane.

En France, de grands travaux ont été aussi exécutés avec succès. Citons ceux des vallées de l'Isère, entre Albertville et la limite du département, et de la rive gauche du Var. Des territoires bas, insalubres, stériles, ont été ainsi transformés. Ils sont devenus, grâce aux colmatages, d'une fertilité exceptionnelle.

3° *Assainissement par des plantes.* — Les plantes, nous l'avons vu (Voy. p. 15), sont de grandes buveuses d'eau. Et l'on peut songer à elles pour assainir les territoires marécageux. Il faut naturellement s'adresser à celles dont le pouvoir d'évaporation est le plus grand. Les plantes dont les feuilles à large surface possèdent un parenchyme tendre sont les plus remarquables sous ce rapport. Au contraire, les végétaux, comme les conifères, qui n'ont que des feuilles étroites et dures, persistantes, évaporent peu. L'aune, l'osier, le peuplier, l'orme, le frêne se rangent parmi les essences qui évaporent le mieux. Et l'on sait combien les plantations de peupliers et les oseraies sont intéressantes au point de vue économique.

Les eucalyptus, et en particulier l'*Eucalyptus globulus*, sont certainement, de tous les arbres de haute taille, les plus intéressants. C'est une véritable machine d'épuisement vivante ! « Une plantation d'eucalyptus en terrain marécageux, disent MM. Rivière et Lecq, équivaut à un drainage. » L'eucalyptus en terre humide de bonne qualité atteint rapidement une hauteur et un diamètre prodigieux. Malheureusement, il craint le froid. Et il craint aussi la sécheresse. Or il dessèche tellement bien qu'en Algérie, au bout de quelque temps, lorsqu'il pousse en massifs, il épuise le sol, et alors il ne trouve plus assez d'eau pour vivre. La nappe aquifère, sous son influence, disparaît parfois l'été, les norias ne peuvent plus fonctionner, et même à une assez grande distance du massif la culture devient impossible. Il ne faudrait donc l'employer qu'en plantations espacées. Puis il demande un sol riche. L'*Eucalyptus rotulus* serait moins exigeant. Les eucalyptus ne possèdent d'ailleurs probablement pas le pouvoir fébrifuge qu'on a tant vanté, et, au point de vue économique, ils n'ont que peu de valeur.

Le grand soleil ou tournesol (*Helianthus annuus*) (composées) est une plante de jardin qui évapore beaucoup. Les plantes légumières aiment l'humidité ; les maraîchers des environs d'Amiens, avec leurs *hortillons* (*hortus*, jardin), utilisent cette propriété pour exploiter avec profit les tourbières de la Somme.

L'assainissement par les plantes ne doit pas être négligé, surtout

lorsqu'il s'agit de terrains de peu de valeur culturale. Ils ne supporteraient pas les frais de travaux d'art importants, et mieux vaut les utiliser par des plantations d'essences aimant l'humidité.

B. Assainissement des petites surfaces renfermant des sources ou des mouillères. — Ces terrains occupent généralement les vallées ou la base des collines environnantes. Ce sont les lieux de prédilection des *sources*; aussi les appelle-t-on *terrains sourciers*. On les assainit à l'aide de fossés ouverts ou de drains qui interceptent les sources avant qu'elles n'arrivent à la surface du sol ou qui procurent aux eaux souterraines un débouché tel que leur niveau soit assez abaissé pour qu'elles ne puissent pas nuire aux terrains voisins. Cette méthode d'assainissement est connue sous le nom de *méthode d'Elkington*. Elkington était un fermier anglais du Warwickshire, qui exécuta d'importants travaux de cette nature.

On n'arrive à l'appliquer avec succès qu'après un examen attentif du sol, des couches sous-jacentes et de leur orientation. Il est donc impossible de préciser les travaux auxquels on devra se livrer dans les diverses circonstances. Nous n'examinerons ici que les cas principaux qui peuvent se présenter.

Lorsque le terrain qui domine la vallée est escarpé et très imperméable, l'eau ruisselle à sa surface et vient se précipiter dans les champs situés en bas. On les défendra en les entourant d'un fossé de ceinture ou en traçant des drains disposés en forme de V. Mais, la plupart du temps, les eaux qui proviennent des pluies et de la fonte des neiges pénètrent plus ou moins profondément dans le sol et viennent se faire jour à sa surface, à une certaine distance. Passons en revue les cas principaux que l'on peut rencontrer.

1° Le terrain supérieur p est perméable (fig. 182) jusqu'à une profondeur déterminée, et il repose sur une couche

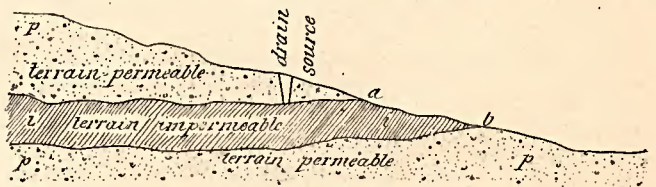


Fig. 182. — Coupe d'un terrain perméable p , traversé par une couche imperméable i .

imperméable i . — Les eaux de pluie ou de fonte des neiges viendront s'y accumuler et suivront sa pente. Si cette couche i affleure le sol en ab , elles détermineront au-dessus de l'affleurement des sources, puis le long de ab , des *mouillères* ou des *fondrières*. Si la couche imperméable est située plus profondément dans le sol et qu'elle vienne à se



relever horizontalement sous la vallée (fig. 183), les eaux formeront une nappe souterraine. Elles pourront monter par capillarité dans la couche de terre arable et la rendre plus humide. Dans l'un et l'autre cas, on creusera des fossés ou drains suffisamment profonds et dirigés suivant la longueur de la vallée. Ils recueilleront les eaux amenées ou

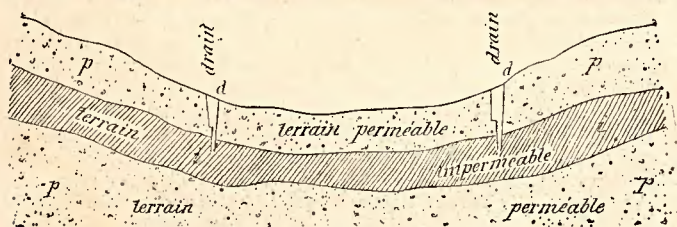


Fig. 183. — Coupe d'un terrain analogue au précédent, mais où la couche imperméable se relève de manière à former cuvette.

retenues par la couche imperméable. Si la couche *i* est située à une assez grande profondeur, on construira des drains tels que ceux qui sont représentés par les figures 183 et 185.

2° Le terrain supérieur et celui qui constitue la vallée sont plus ou moins imperméables (fig. 184). Ils sont traversés par une couche perméable. — Cette dernière joue le rôle d'un drain.

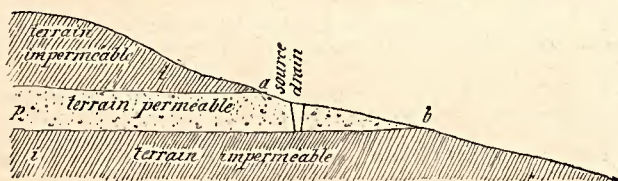


Fig. 184. — Coupe d'un terrain imperméable *i*, traversé par une couche perméable *p*.

Elle reçoit et accumule les eaux qui égouttent des terres placées au-dessus d'elle. Si elle affleure en travers du coteau ou de la vallée en *ab* (fig. 179), elle détermine en ce point des sources ou des mouillères ; des sources, si elle est formée, comme dans les pays granitiques, par des roches fissurées qui laisseront passer l'eau ; des mouillères, si elle est constituée par des sables ou du gravier. Dans tous les cas, la partie *ab* sera plus ou moins inondée. La couche perméable *p* peut remonter vers l'autre bord de la vallée, comme le montre la figure 185. L'eau tend alors à sortir par les points où le sol offre le moins de

résistance et à transformer toute la surface comprise entre eux en un marécage. Dans l'un et l'autre cas, le procédé d'assainissement sera très simple. Il suffira de creuser des fossés ou des drains qui communiqueront avec la couche perméable.

3° La couche perméable passe sous la vallée dans une direction presque horizontale, pour ne se relever ensuite que très lentement (fig. 185). — Elle forme alors sous la vallée, plus ou moins profondément, un réservoir d'eau. Et ce voisinage peut gêner la culture du sol imperméable sus-jacent dans lequel l'eau

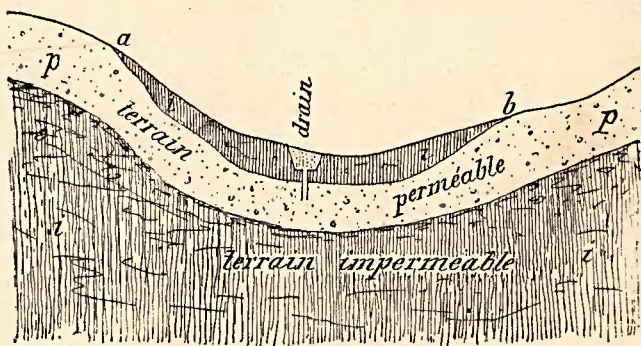


Fig. 185. — Coupe d'un terrain analogue au précédent, mais où la couche perméable se relève.

monte par capillarité. C'est encore à l'aide de fossés creusés dans le thalweg jusqu'à la couche perméable que l'on assainira le terrain.

4° Sous un terrain imperméable *i* s'engage une masse perméable *p* qui le surplombe (fig. 186). — Alors les eaux s'accumulent dans la masse perméable. Elles exercent une pression sur le terrain sous-jacent, et elles cherchent à sortir aux points où elles rencontrent une résistance moindre. Elles déterminent ainsi tout autour de l'éminence des sources dont les unes, les plus élevées, sont temporaires, les autres permanentes. On s'en rendra maître en creusant des fossés circulaires, tels que *f*, qu'on mettra au besoin en communication avec la couche imperméable à l'aide d'un sondage. Les eaux de ce fossé seront conduites dans des rigoles destinées à les évacuer dans le cours d'eau *g*. De cette façon, le niveau de l'eau sera abaissé, et les différentes sources seront supprimées.

Elkington recommande de choisir avec le plus grand soin les points où l'on creuse ces fossés. Ils doivent couper les sources permanentes et non pas les sources temporaires ; s'ils ne coupaient que les secondes, ils laisseraient en effet subsister les causes principales de l'humidité et constitueraient une dépense inutile. C'est par un examen attentif

du terrain que l'on arrivera à se rendre compte de la position la meilleure à donner aux fossés. On pratiquera de place en place des tranchées d'essai et de sondages, et l'on recherchera avec soin l'orientation des

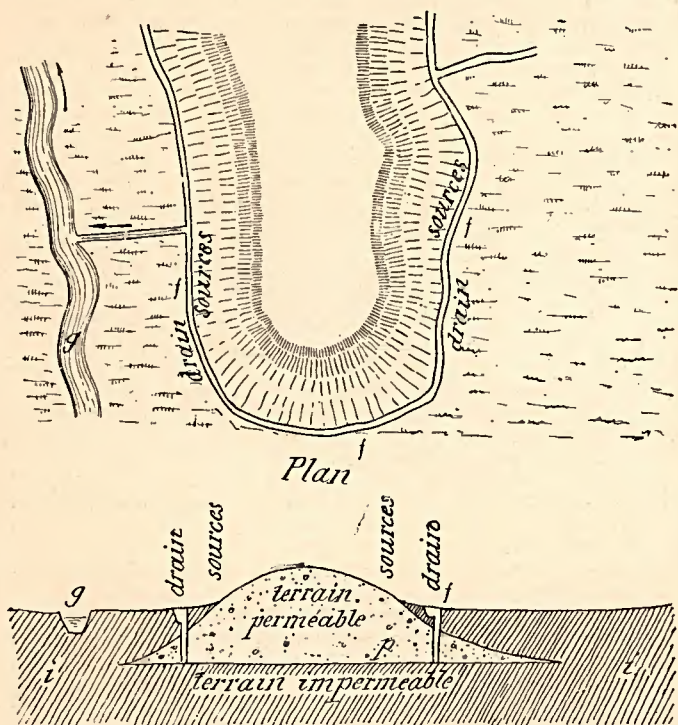


Fig. 186. — Le terrain perméable formant saillie au-dessus du sol s'engage sous une couche imperméable.

diverses couches de terrain. Ces recherches sont toujours délicates et assez coûteuses.

Quand la couche aquifère n'est qu'à 1^m,50 ou 2^m,50 au-dessous de la surface du sol, on pousse les drains jusqu'à cette profondeur. Mais, si elle est située plus bas, on ne peut pas l'atteindre de cette façon ; ce serait beaucoup trop cher. On dispose alors les drains à la profondeur habituelle. Mais, de place en place, on établit un puits qui va jusqu'à la couche aquifère. On remplit ces puits de gravier ou de cailloux.

Si la couche aquifère est encore plus bas, à 4 ou 5 mètres au-dessous de la surface du sol, on établit à côté du drain un trou de sondage. Celui-ci se fore très facilement à l'aide d'une petite sonde de 0^m,05 à 0^m,10 de diamètre. Il a sa partie supérieure placée dans une fosse qui entoure le drain et qui est remplie de graviers ou de cailloux sur 0^m,50 de hauteur. Le drain peut d'ailleurs consister en un simple fossé découvert. Les eaux souterraines pénètrent dans le puits ou dans le trou de sonde. Elles arrivent jusqu'au drain qu'elles entraînent. Suivant les circonstances, on établit un nombre plus ou moins grand de ces puits ou de ces trous de sondage. C'est le drainage par *puits artésiens* ou *ascendants*.

5° **La couche imperméable qui constitue le sol mis en culture n'est éloignée que de quelques mètres d'une couche perméable puissante qui pourrait absorber toutes les eaux surabondantes.** — Que l'on creuse des puits qui établiront une communication entre le terrain supérieur et les couches inférieures perméables, les eaux surabondantes se rendront du premier dans les secondes, et l'assainissement sera réalisé. C'est le drainage par *puits absorbants* ou *drainage vertical*, appelé aussi *drainage hollandais*. C'est évidemment un moyen très simple de débarrasser le sol des eaux nuisibles ; mais il ne sera économique que si la couche perméable n'est qu'à une faible distance de la surface. Le nombre de puits qu'il faut creuser est en effet très variable suivant les circonstances. Il est presque toujours relativement considérable. On peut être amené à ne les espacer que de quelques mètres pour obtenir un résultat, et alors à en creuser plusieurs milliers à l'hectare. On y place une perche en bois que l'on entoure de paille fortement tassée. On peut aussi mettre dans ces trous des fascines, ou des tuyaux de poterie. L'opportunité de l'emploi de ce système de drainage dépend évidemment des circonstances locales. Avant de chercher à l'appliquer, il faut explorer avec soin le terrain, examiner les tranchées qui ont pu être pratiquées aux alentours, sur le flanc des coteaux, faire des sondages, prendre enfin tous les renseignements de nature à s'éclaircir sur la composition du sous-sol (Voy. p. 473).

On peut combiner le drainage avec les puits absorbants et obtenir d'excellents résultats. L'emploi des *boitouts* (1) ou *puisards* est connu depuis bien longtemps dans certains pays. Ce sont des puits qui atteignent directement la couche perméable ou qu'un trou de sondage met en communication avec elle. Des tranchées ouvertes ou empierreées y amènent les eaux qui s'égouttent du sol et vont ainsi se perdre dans les couches profondes. Les terrains encaissés, en cuvette, ou ceux qui n'ont pas de pente ne peuvent guère être assainis qu'à l'aide des *boitouts* ou des machines élévatoires. Aussi ce mode de drainage a-t-il souvent été employé pour dessécher des marais ou des étangs. Il n'est pas naturel, comme le drainage vertical dont nous venons de

(1) Voy. aussi p. 523.

parler, la présence d'une couche perméable sous le sol à dessécher. Il faut donc se livrer aux études préalables dont nous avons parlé tout à l'heure. Elles indiqueront la place où il conviendra d'établir le boitout. Ce puits présentera à la surface du sol une ouverture circulaire de 4 à 5 mètres. On le creusera en lui donnant la forme d'un entonnoir. Ses parois seront maintenues à l'aide de croisillons ou de palplanches. Il pourra descendre jusqu'à 3 à 6 mètres de profondeur. S'il ne peut atteindre la couche perméable, on y forera à l'aide d'une sonde un trou qui pourra descendre sans trop de difficultés jusqu'à 20, 30 mètres ou même 40 mètres. On place des tuyaux de fonte ou de fer dans le trou foré et on remplit la cuvette, formée par le puisard, de matériaux convenables, racines d'arbres, pierres et graviers, à moins qu'on n'y construise un regard. C'est vers cette cuvette que se dirigeront les drains collecteurs. Elle doit être assez grande pour que toutes les eaux puissent y trouver un écoulement assuré. En effectuant le forage, on peut trouver de l'eau jaillissante. Mais on rencontrera, en général, une couche absorbante. Il y a des boitouts qui fonctionnent à la fois comme puits absorbants et comme fontaines artésiennes. En disposant convenablement les tubages, on arrive à séparer les eaux remontantes des eaux descendantes. L'établissement de ces boitouts ou puisards était plus en faveur autrefois qu'aujourd'hui. Ils peuvent rendre cependant des services à l'agriculture.



TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION DE M. LE D ^r P. REONARD.....	V
PRÉFACE DE LA TROISIÈME ÉDITION.....	VIII
INTRODUCTION	1

PREMIÈRE PARTIE

L'eau, la plante et le sol.

CHAPITRE I. — Relations entre l'eau, la plante et le sol au point de vue chimique...	13	1. Pouvoir d'imbibition. — Capacité totale pour l'eau et capacité absolue. — Capacité pour l'air.	48
I. RÔLE PHYSIOLOGIQUE DE L'EAU.	13	2. Perméabilité.....	61
1. Consommation de l'eau faite par les plantes.....	15	3. Capillarité. — Mouvements de l'eau dans le sol.....	77
2. Comparaison entre le régime des pluies et les besoins des récoltes.	22	4. Dessiccation des terres. Évaporation	83
3. Comment donner aux plantes les quantités d'eau dont elles ont besoin ?.....	31	5. Retrait des terres. — Fendillement.....	87
II. INFLUENCE DES CULTURES SUR LE DÉBIT DES SOURCES ET DES COURS D'EAU.....	32	6. Température du sol.....	87
III. PHÉNOMÈNES CHIMIQUES QUI ACCOMPAGNENT LA CIRCULATION DE L'EAU DANS LE SOL.....	33	Quantité d'eau optima que doit contenir une terre.....	90
1. Pouvoir absorbant des terres pour les matières fertilisantes...	35	II. RAPPORT ENTRE LES QUANTITÉS DE PLUIES TOMBÉES ET LES QUANTITÉS D'EAU QUI TRAVERSSENT LES TERRES.....	90
2. Composition des dissolutions contenues dans le sol.....	37	III. INSTRUMENTS POUR PRÉLEVER DES ÉCHANTILLONS DE TERRE..	95
CHAPITRE II. — Relations entre le sol, l'eau et l'atmosphère au point de vue physique.....	46	CHAPITRE III. — Le régime des eaux dans les formations géologiques.....	99
I. PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES SOLS	46	1. Terrains primitifs.....	99
		2. Terrains volcaniques.....	105
		3. Terrains primaires.....	105
		4. Terrains secondaires.....	107

Terrains jurassiques, 109. — Infra-crétacés, 113. — Crétacés.....	116	8. Terrains quaternaires de la Suisse et de la Savoie.....	133
5. Terrains tertiaires.....	119	La Bresse et les Dombes, 135. — La Dombe, 137. — Limon des plateaux.....	138
Argile plastique, 119. — Marnes vertes, 120. — Argiles à meulière de la Brie, 121. — Marnes à huîtres et sables de Fontainebleau, 124. — Calcaire de la Beauce, 124. — La Sologne, 125. — La Brenne, 125. — La plaine du Forez et le bassin de Roanne, 125. — Le pays entre Loire et Allier, 126. — Département du Nord.....	127	CHAPITRE IV. — Substances fertilisantes contenues dans l'eau.....	140
6. Terrains tertiaires et quaternaires du sud-ouest de la France.....	127	1. Substances contenues en suspension dans les eaux. — Limons..	140
Mollasses et boulbènes, 127. — Département des Landes, 130. — Dunes de Gascogne.....	131	Recherches de MM. Müntz, Faure et Lainé, 143. — Composition et propriétés des limons.....	150
7. Terrains tertiaires et quaternaires de la Suisse et de l'Est.....	132	2. Substances fertilisantes contenues en dissolution dans les eaux.....	158
Le flysch, 132. — Mollasse.....	132	A. Eaux de pluies et de neige, 158. — B. Eaux des rivières et des fleuves, 159. — a. Gaz dissous dans les eaux des rivières et des fleuves, 159. — b. Azote et matières minérales contenus dans les eaux des fleuves.....	160

DEUXIÈME PARTIE

Emploi de l'eau en agriculture. — Irrigations.

CHAPITRE I. — Effets de l'irrigation.....	166	CHAPITRE II. — Qualités des eaux employées à l'irrigation.....	180
1. L'irrigation compense l'insuffisance des pluies pendant la période active de la végétation...	166	CHAPITRE III. — Moyens de se procurer de l'eau pour les irrigations.....	182
2. Rôle de l'irrigation comme agent de fertilisation.....	166	1. Eaux des sources.....	182
1. L'irrigation aère le sol, 166. — 2. L'irrigation solubilise les matières fertilisantes contenues dans le sol, 169. — 3. L'irrigation peut apporter des matières fertilisantes, 169. — 4. Action calorifique de l'eau d'irrigation.	177	2. Etangs et grands réservoirs.....	187
3. L'irrigation bien dirigée délivre les prés des insectes, des animaux et des plantes nuisibles.....	179	3. Eaux des fleuves, des rivières et des ruisseaux.....	193
4. L'irrigation pratiquée avec des eaux stériles épuise les terres si on n'y apporte pas des engrais complémentaires.....	179	Évaluation du débit d'un cours d'eau.....	201
		4. Canaux d'irrigation.....	204
		Distribution de l'eau. — Partiteurs. — Modules.....	205
		5. Eaux de drainage.....	208
		Machines élévatoires.....	208
		CHAPITRE IV. — Prix de l'eau.	208
		CHAPITRE V. — Canaux et rigoles d'irrigation.....	211
		1. Section des canaux et rigoles....	213

2. <i>Pente des talus</i>	214	Canaux d'évacuation des eaux,	
3. <i>Pente des canaux</i>	215	243. — Manière de donner l'eau,	
4. <i>Canal d'aménée ou de dérivation</i>	217	243. — Avantages et Inconvénients de l'irrigation par rigoles	
5. <i>Rigoles de distribution</i>	218	horizontales.....	244
6. <i>Rigoles d'arrosage</i>	218	B. Irrigation artificielle par rigoles	
7. <i>Rigoles de colature</i>	219	horizontales ou par plans inclinés.....	246
8. <i>Canaux d'évacuation ou de décharge</i>	220	Plans inclinés ordinaires, 247. — Plans inclinés en étages, 247. — Avantages et Inconvénients de l'irrigation par planches inclinées ou gradins.....	248
Pertes d'eau par évaporation et infiltration.....	220	2. Méthode d'irrigation par rigoles obliques ou méthode provençale des calants.....	250
9. <i>Calcul des dimensions des canaux et des rigoles principales</i>	220	3. Méthode d'irrigation par rigoles inclinées, razes ou épis.....	251
Tableau donnant les valeurs du coefficient C de la formule $V = C\sqrt{RI}$, 225. — Tableau donnant les valeurs du coefficient b correspondant aux valeurs du coefficient $C = \frac{1}{\sqrt{b}}$, 225.		Rigoles principales d'alimentation et de colature, 252. — Rigoles de distribution, 253. — Rigoles d'arrosage, 254. — Rigoles de colature, 254. — Avantages et Inconvénients de l'irrigation par razes.....	254
— Tableau donnant les valeurs du coefficient C de la formule $U = C\sqrt{RI}$, d'après Ganguillet et Kutter.....	229	4. Méthode d'irrigation par planches en ados.....	255
CHAPITRE VI. — Technique de l'irrigation.....	230	Pente et dimensions des ados, 258. — Ados naturels, artificiels, en étages.....	262
I. SYSTÈMES ET MÉTHODES D'IRRIGATION.....	230	A. Ados naturels.....	263
II. IRRIGATION DES TERRES LABOURABLES ET DES CULTURES MARAÎCHÈRES.....	234	B. Ados artificiels.....	265
III. IRRIGATION DES PRAIRIES.....	234	Dimensions et pente des planches, 265. — Rigoles d'aménée et de sortie de l'eau, 265. — Rigoles d'arrosage, 266. — Rigoles de colature, 267. — Rigoles collectrices des colateurs, 268. — Chemins d'exploitation, 268. — Orientation des ados, 269. — Emploi de l'eau des colateurs..	271
IV. DESCRIPTION DES DIFFÉRENTS SYSTÈMES ET MÉTHODES D'IRRIGATION.....	236	C. Ados en étages.....	275
1. <i>Irrigation par déversement ou ruissellement</i>	236	Quantités d'eau nécessaires aux ados.....	277
1. Méthode d'irrigation par rigoles horizontales.....	236	Avantages et Inconvénients de la méthode d'irrigation par ados.....	280
A. Irrigation naturelle.....	236	2. <i>Irrigation par submersion</i>	281
Canal d'aménée, 239. — Rigoles de distribution, 239. — Emplacement de ces rigoles, 239. — Rigoles d'arrosage, 246. — Jonction des rigoles d'arrosage avec les rigoles de distribution, 240. — Longueur et pente des rigoles d'arrosage, 242. — Espacement de ces rigoles entre elles, 242. — Rigoles de colature 243. —		1. Submersion naturelle.....	282
		2. Submersion artificielle simple.	282
		Tracé des travaux, 285. — Avantages et Inconvénients de l'irrigation par submersion artificielle	

simple, 237. — Manière de donner l'eau.....	237	2. Ados artificiels.....	336
3. Submersion artificielle avec écoulement continu.....	238	Dispositions spéciales pour l'arrosage des planches de grandes dimensions.....	338
3. <i>Irrigation par infiltration</i>	290	Construction des plans inclinés...	339
1. Infiltration par rigoles profondes.....	290	CHAPITRE X. — Drainage des prairies irriguées.....	341
2. Infiltration par rigoles superficielles.....	291	CHAPITRE XI. — Economie des irrigations.....	342
4. <i>Drainage et irrigation combinés (système de Petersen)</i>	294	Prix de revient des irrigations, 342. — Résultats apportés par l'irrigation.....	342
CHAPITRE VII. — Répartition de l'eau.....	298	CHAPITRE XII. — Irrigations dans les hautes montagnes.....	344
A. <i>Méthode de Friedrich</i>	299	Bisses du Valais.....	345
1. Irrigations par submersion....	299	CHAPITRE XIII. — Limonage.	350
2. Irrigations par ruissellement..	301	CHAPITRE XIV. — Ensemencement et entretien des prairies irriguées.....	353
B. <i>Méthode de M. J. Crevat</i>	304	<i>Transplantation du gazon</i>	353
CHAPITRE VIII. — Quantités d'eau nécessaires aux irrigations.....	311	<i>Ensemencement</i>	353
Définition.....	311	<i>Entretien des prairies irriguées</i> ...	357
A. <i>Irrigations d'arrosage</i>	314	Curage des fossés et des canaux, 358. — Destruction des animaux et des plantes nuisibles, 360. — Fenaison, 362. — Pâturage des prairies irriguées.....	365
1. Influence des plantes et du climat.....	314	CHAPITRE XV. — Pratique de l'arrosage des prairies..	366
2. Influence de la nature du sol..	315	<i>Quantités d'eau employées. — Arrosages suivant les saisons</i>	366
3. Influence de la pente du sol...	317	<i>Irrigations par ruissellement</i>	369
4. Influence du système d'irrigation.....	317	Intermittences dans les irrigations d'été et d'hiver, 371. — Conduites de l'eau au moment des gelées.....	371
Quantités d'eau données en France.....	317	<i>Irrigations d'automne</i>	373
B. <i>Irrigations fertilisantes</i>	322	<i>Irrigations de printemps</i>	375
CHAPITRE IX. — Exécution des irrigations.....	324	<i>Irrigations d'été</i>	376
Projet et plan, 324. — Exécution du plan, 327. — Tracé et confection des rigoles dans la méthode d'irrigation par rigoles horizontales, 331. — Construction des ados.....	334	<i>Application des engrais</i>	377
1. Ados naturels.....	334		

TROISIÈME PARTIE

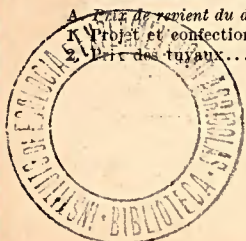
Défense contre les eaux.

CHAPITRE I. — Inconvénients d'un excès d'eau dans le sol.....	381	CHAPITRE II. — Indice et origine de l'excès d'eau dans le sol.....	392
--	-----	---	-----

INDICES DE L'EXCÈS D'EAU DANS LE SOL.....	392	A. Théorie de Barré de Saint-Venant.....	422
ORIGINE DES EAUX NUISIBLES DANS LE SOL.....	394	B. Théorie de M. Risler.....	423
CHAPITRE III. — Assainissement. — Dessèchement. — Drainage.....	396	2. Profondeur des drains et des collecteurs.....	432
CHAPITRE IV. — Définition et historique du drainage.....	398	3. Ecartement des drains.....	436
Définition.....	398	4. Vitesse de l'eau dans les tuyaux. — Pentes minima et maxima...	441
Historique.....	398	5. Calibres des drains et des collecteurs.....	443
CHAPITRE V. — Effets du drainage.....	404	Emploi des tables et des graphiques pour faciliter les calculs.	447
1. Mode d'action d'une saignée souterraine.....	404	A. Calibre des drains et longueur maxima des files.....	448
Expériences de Delacroix.....	405	B. Calibres et longueur maxima des collecteurs.....	451
2. Comment l'eau pénètre dans les drains et comment ils suffisent à l'enlever.....	407	6. Evacuation des eaux. — Emissaire, bouches.....	453
3. Effets principaux du drainage.....	409	CHAPITRE VII. — Exécution du drainage.....	456
1. Le drainage aère le sol.....	409	Drainages à l'aide de tuyaux de poterie.....	456
2. Le drainage modifie la constitution physique des terres argileuses.....	411	Époque de l'année convenable à l'exécution du drainage.....	456
3. Le drainage permet aux terres argileuses de résister plus facilement à la sécheresse parce qu'il favorise l'emmagasinement de l'eau dans le sol.....	413	1. Arpentage et nivellement du terrain à drainer.....	457
4. Le drainage laisse les racines pénétrer plus profondément dans le sol.....	414	A. Nivellement.....	457
5. Le drainage réchauffe le sol.....	414	B. Tracé des horizontales.....	462
6. Le drainage facilite la culture du sol.....	415	1. Tracé direct.....	463
7. Le drainage amène la disparition des mauvaises plantes; il rend salubres les régions humides.....	416	2. Méthode des carrés.....	466
8. Le drainage n'appauvrit pas le sol. Il fournit généralement des eaux excellentes, soit pour l'alimentation, soit pour l'irrigation.....	416	3. Méthode des profils.....	471
9. Le drainage augmente la qualité et le rendement des récoltes.....	417	C. Tracés des lignes de plus grande pente et des thalwegs.....	472
CHAPITRE VI. — Théorie du drainage.....	418	D. Conservation sur le terrain des points du levé et du projet.....	473
1. Direction des drains et des collecteurs.....	418	2. Etude expérimentale du terrain.	473
		3. Etablissement du projet et du plan de drainage.....	475
		1. Mémoire explicatif.....	475
		2. Devis et cahier des charges.....	477
		3. Avant-métré.....	477
		4. Bordereau des prix.....	478
		5. Détail estimatif.....	478
		6. Plan de drainage.....	478
		7. Plan d'ensemble.....	478
		8 et 9. Profils en long et en travers.....	482
		Observations sur la rédaction des projets et plans de drainage.....	483

4. <i>Piquetage du réseau de drainage et tracé sur le terrain</i>	485	3. Ouverture des tranchées.....	533
A. Tracé des collecteurs.....	485	4. Transport des tuyaux et nettoyage.....	534
B. Tracé des drains.....	486	5. Pose des tuyaux.....	534
C. Tracé de l'émissaire.....	487	6. Recouvrement et remplissage des fossés.....	535
5. <i>Transport et arrangement des tuyaux</i>	487	7. Installation des ouvrages accessoires.....	535
6. <i>Exécution des tranchées</i>	488	8. Frais de direction.....	535
A. Tracé de l'emprise.....	488	9. Achat de terrains, indemnités diverses.....	535
B. Fouille des tranchées.....	490	B. <i>Bénéfices à attendre du drainage</i>	536
C. Dressage du fond de la tranchée.....	494	CHAPITRE X. — <i>Du choix des drains</i>	537
1. Calcul des profondeurs des tranchées.....	494	CHAPITRE XI. — <i>Drainages à l'aide de fossés ouverts, de drains en pierres, fascines, etc.</i>	538
2. Dressage proprement dit ou règlement de la pente.....	497	1. <i>A l'aide de fossés ouverts</i>	538
7. <i>Pose des tuyaux</i>	503	2. <i>A l'aide de drains en pierres, fascines</i>	541
Raccordement des tuyaux.....	507	CHAPITRE XII. — <i>Méthodes diverses d'assainissement</i>	545
8. <i>Remblayage des tranchées</i>	510	A. ASSAINISSEMENT DES GRANDES SURFACES:.....	545
9. <i>Tracé et correction de l'émissaire</i>	511	1. <i>A l'aide de fossés ouverts</i>	545
Tracé des limites de l'emprise de l'émissaire.....	513	Avantages et inconvénients des fossés, 546. — Tracé des fossés, 546. — Calcul des dimensions des canaux et fossés, 547. — Quantité de travail nécessitée par l'élévation mécanique des eaux.....	549
10. <i>Travaux et ouvrages accessoires</i>	517	2. <i>Colmatage</i>	549
1. Passage des fossés et des chemins.....	517	Exécution des colmatages, 550. — Colmatage intermittent.....	551
2. Regards.....	519	Colmatage continu.....	552
3. Bouches.....	521	1. Terrain horizontal.....	552
4. Bornes-repères.....	525	2. Terrain incliné.....	553
5. Puits absorbants.....	525	Travaux de colmatage exécutés en France et en Italie.....	554
CHAPITRE VIII. — <i>Obstructions des drains et moyens de prévenir</i>	527	3. <i>Assainissement par les plantes</i>	554
1. Obstructions par les racines...	527	B. ASSAINISSEMENT DES PETITES SURFACES RENFERMANT DES SOURCES OU DES MOUILLÈRES..	555
2. Dépôts de sable fin et d'argile.....	528		
3. Dépôts calcaires.....	529		
4. Dépôts ferrugineux.....	530		
5. Obstructions par les animaux.....	530		
6. Détermination de l'endroit où le drainage cesse de fonctionner..	530		
CHAPITRE IX. — <i>Économie du drainage</i>	531		
A. <i>Coût de revient du drainage</i>	531		
B. <i>Projet et confection du plan</i> ..	532		
C. <i>Pose des tuyaux</i>	532		

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.



AGENDA

AIDE-MÉMOIRE

AGRICOLE

Par G. WERY

SOUS-DIRECTEUR DE L'INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE

Broché. { *Sans Almanach* (324 pages) 1 fr. 50
 { *Avec Almanach* (468 pages) 2 fr.
Relié avec Almanach en portefeuille, avec crayon et pochette. 3 fr.

Que ce soit un homme de science sorti de l'Institut national agronomique, un praticien émérite instruit dans les Écoles nationales d'Agriculture, ou un cultivateur avisé vivant de tradition, l'agriculteur moderne a sans cesse besoin de renseignements qui se traduisent par des chiffres dont les colonnes longues et ardues ne peuvent s'enregistrer dans son cerveau. Aussi lui faut-il un aide-mémoire qui lui puisse apporter instantanément ce qu'il réclame.

Ce Manuel doit lui être présenté sous une forme particulière, celle de l'*Agenda de poche*. C'est peut-être sur son champ même que le cultivateur aura subitement besoin de voir la quantité de grains qu'il doit faire semer, d'engrais qu'il doit faire épandre, de journées d'ouvriers qu'il doit inscrire. C'est ce qu'a bien compris M. G. Wery. L'*Agenda Aide-mémoire* qu'il offre aujourd'hui aux agriculteurs est une œuvre de fine précision scientifique et de solide pratique culturale qu'apprécieront à la fois les cultivateurs et les agronomes.

On trouvera, notamment, dans l'*Aide-mémoire* de M. WERY, des tableaux pour la composition des produits agricoles et des engrais, pour les semences et rendements des plantes cultivées, la création des prairies, la détermination de l'âge des animaux, de très importantes tables dressées par M. MALLÈVE pour le rationnement des animaux domestiques, l'hygiène et le traitement des maladies du bétail, la laiterie et la basse-cour, la législation rurale, les constructions agricoles, enfin une étude très pratique des tarifs de transport applicables aux produits agricoles. A la suite de l'*Aide-mémoire*, viennent des *tableaux de comptabilité* pour les assolements, les engrais, les ensemencements, les récoltes, l'état du bétail, le contrôle des produits, les achats, les ventes et les salaires.

Dans cet *Agenda agricole*, comme dans sa brillante *Encyclopédie agricole*, M. WERY a fait preuve de deux qualités maîtresses : une conception méthodique et une documentation rigoureuse.

Cet *Agenda* contient, sous une forme élégante et très pratique, les documents nécessaires au cultivateur averti du progrès, en évitant la banalité des publications similaires dont la plupart donnent une piètre idée de la littérature de vulgarisation agricole.

Le format est pratique, et les tableaux de comptabilité sont une heureuse innovation qui n'existait pas jusqu'alors dans les agendas de poche.

Bref, c'est une œuvre fort bien conçue et les services qu'elle rendra à ceux qui la consulteront lui assureront certainement une place unique au-dessus de toutes les publications de ce genre.

ENVOI FRANCO CONTRE UN MANDAT POSTAL

AGENDA

AIDE-MÉMOIRE

VITICOLE

ET VINICOLE

Par G. WERY

SOUS-DIRECTEUR DE L'INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE

Broché. { *Sans Almanach* (384 pages) 1 fr. 50
 { *Avec Almanach* (532 pages) 2 fr.
Relié avec Almanach en portefeuille, avec crayon et pochette. 3 fr.

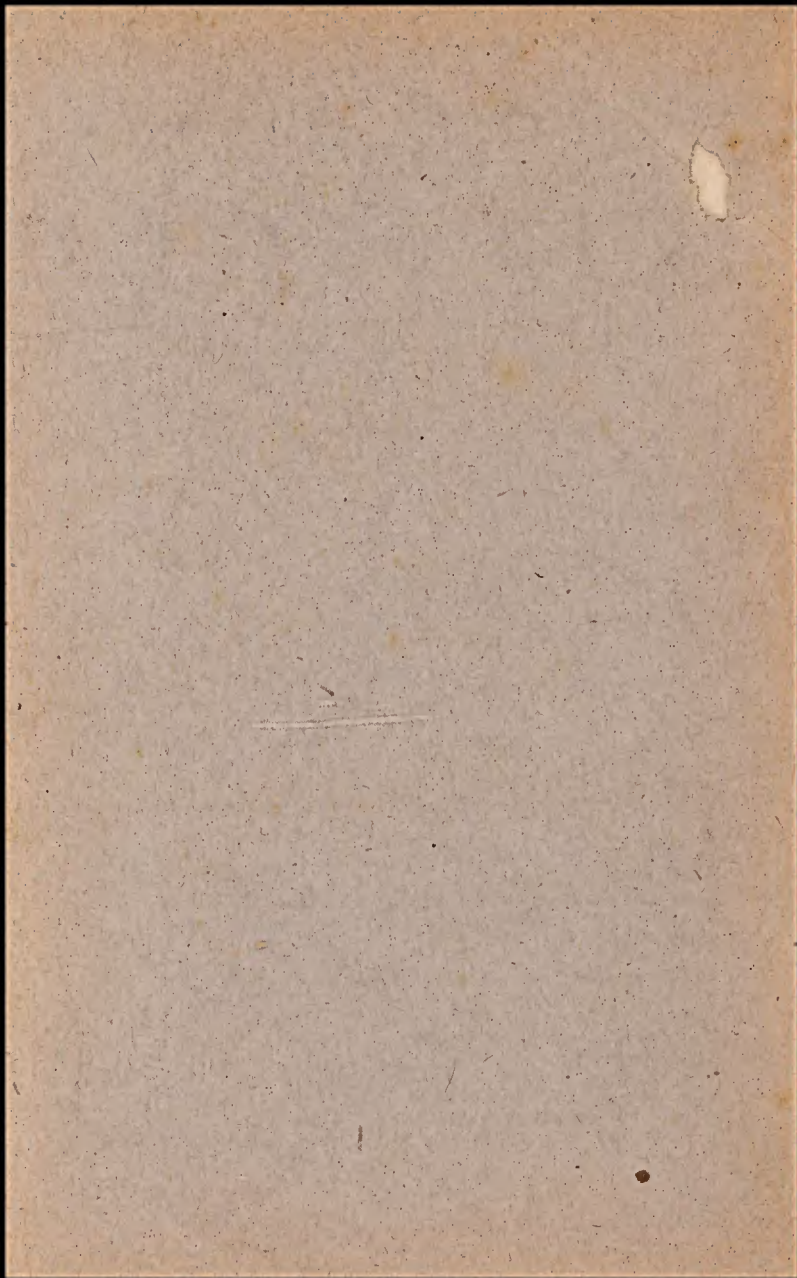
Encouragé par le succès qui a accueilli son *Agenda Aide-mémoire agricole*, M. WERY, à la sollicitation des professeurs d'agriculture des régions viticoles, publie cette année sur le même modèle un nouvel *Agenda Aide-mémoire Viticole et Vinicole* spécialement destiné aux agriculteurs du Midi.

On y trouvera tout d'abord des tableaux des *principaux cépages français*, tant pour les vignes à raisins noirs et à raisins blancs de cuve que pour les vignes à raisins de table. Vient ensuite la *reconstitution des vignobles* avec des tableaux pour les *principaux producteurs directs*, leur choix suivant les terrains : puis les *principaux porte-greffes*, avec leurs caractères, leur résistance au phylloxera, leur adaptation au sol, leur affinité pour le greffon, leur facilité de reprise au bouturage et au greffage.

L'*application des engrais* aux vignes est exposée en détail. On y trouvera l'indication des matières fertilisantes absorbées par hectare de vigne suivant les régions. Les *travaux de culture*, défoncements, plantation, labourage sont exposés, puis les *maladies de la vigne* donnent lieu, au contraire, à de nombreux tableaux avec l'indication pour chaque maladie de ses causes, de ses caractères et de son traitement, tant préventif que curatif. Pour les *insectes nuisibles*, on trouvera pour chacun d'eux leurs caractères, l'état et l'époque dans lesquels ils sont nuisibles, les procédés de préservation et de destruction. Les *fongicides et insecticides* donnent lieu à l'indication de nombreuses recettes et formules pratiques.

L'*Œnologie* est ensuite passée en revue. On y trouvera des tableaux de *composition des raisins* des principaux cépages, la *transformation du moût* sous l'action des levures, des tableaux de correction du moût suivant la température, des procédés de travail et d'amélioration du moût, puis la *fabrication des vins rouges et blancs*, l'*amélioration et les soins à donner aux vins*, les *maladies des vins* avec leurs causes, leurs caractères et leur traitement, l'*analyse* des vins et alcools.

Un exposé très complet de la *législation viticole et vinicole* termine cette partie.





Instituto de Ecologia e Experimentação Agrícolas
BIBLIOTECA

Prove que sabe honrar os seus compromissos devolvendo com pontualidade este livro, dentro do prazo indicado.

O prazo poderá ser prorrogado, caso a obra não esteja sendo procurada por outro leitor.



