

LA HOUILLE BLANCHE

Revue Mensuelle des Forces Hydro-Electriques
et de leurs Applications

12^e Année. — Août 1913. — N^o 8.

La houille noire a fait l'industrie moderne ;
la houille blanche la transformera.

ÉTUDE SUR L'ARROSAGE DES TERRES (1)

Depuis 8 ans, nous poursuivons, à la demande et avec l'appui de la Direction de l'Hydraulique et des Améliorations agricoles au Ministère de l'Agriculture, des recherches sur les arrosages et les propriétés physiques des terres.

Dans une étude antérieure, nous avons montré que les quantités d'eau d'arrosage pratiquement données étaient en général bien supérieures aux besoins réels des récoltes, et qu'il était fait ainsi un véritable gaspillage d'eau. Nous avons insisté sur la nécessité qu'il y aurait, au contraire, de limiter l'usage de l'eau à la quantité réellement utile, afin de pouvoir étendre aux plus grandes surfaces possibles le bienfait de l'arrosage. L'intérêt général veut en effet que l'eau, qui est rare, serve à augmenter le plus possible la fortune publique, en apportant la plus-value due à l'irrigation aux surfaces les plus étendues. Au contraire, l'agriculteur, qui a payé l'eau, croit utile d'en employer le plus possible, ce qui est une erreur souvent préjudiciable à son propre intérêt : l'intérêt particulier n'est pas antagoniste de l'intérêt général.

Dans l'ensemble de ces recherches, nous n'avons envisagé que le cas de la prairie naturelle, qui est la principale culture irriguée et qui peut servir de type, et nous avons étudié la méthode usuelle *par déversement*, telle qu'elle est pratiquée dans les régions des grands canaux de la France et de l'Étranger.

Dans cette méthode, la surface du terrain est divisée en parcelles rectangulaires appelées *calants*, qui sont arrosées successivement. Chaque calant est contigu à une rigole de distribution, qui le domine, et de laquelle on fait déborder l'eau d'arrosage, qui s'écoule en nappe uniforme en suivant les lignes de plus grande pente du sol.

Nous avons montré que, dans ces conditions, l'arrosage le plus favorable est celui qui est juste nécessaire pour que l'eau atteigne tous les points de la parcelle. Cette dose d'arrosage, que nous avons appelée *l'arrosage minimum*, n'est donc point fixée par les besoins réels de la végétation, mais par la nécessité où l'on est d'effectuer un arrosage complet. Le minimum idéal serait celui qui correspondrait strictement aux quantités d'eau que les récoltes doivent évaporer pour élaborer leur propre substance. Nous avons fait voir qu'en pratique il est toujours dépassé. Il en résulte que l'irrigation rationnelle est celle qui tend à la plus grande économie de l'eau.

L'eau d'arrosage est admise dans la rigole de distribution avec un débit déterminé et constant qui est imposé à l'usager par le règlement du canal et qui s'appelle le *module*. La rigole déborde sur une longueur égale à la largeur du calant et alimente une nappe arrosante dont on peut calculer le débit à l'entrée de la planche par seconde et par mètre de largeur. La vitesse de ruissellement est fonction de ce

débit et de la pente du terrain. Elle est ralentie par la végétation. Par suite de l'infiltration, qui est proportionnelle à la perméabilité du sol, cette vitesse diminue à mesure qu'on s'éloigne de la rigole de distribution et tendrait à devenir nulle si le calant avait une longueur suffisante. L'arrosage minimum, dont la valeur est fixée par le temps que la nappe arrosante met à atteindre l'extrémité du calant, peut ainsi varier entre de larges limites sous l'influence de ces facteurs : module, pente, état de la végétation, dimensions des calants, perméabilité du terrain.

Nous avons exposé dans notre précédente Note nos recherches sur l'influence de la perméabilité ; c'est l'étude des autres facteurs qui fait l'objet de la présente Note.

PENTE ET ÉTAT DE LA VÉGÉTATION. — Nous avons essayé d'apporter une contribution à la détermination de la loi du ruissellement à la surface du sol couvert de végétation. Cette question n'a fait l'objet, jusqu'à présent, que d'un petit nombre de recherches.

Dans une rigole en bois, étroite et longue, nous avons placé, sans les déformer, des mottes engazonnées, de façon à réaliser en quelque sorte un rectangle de prairie dont on pouvait à volonté faire varier la pente. On y faisait couler de l'eau avec des débits pouvant être mesurés et maintenus constants. La terre étant saturée d'eau sur un fond imperméable, l'effet de la perméabilité était supprimé. Nous mesurons l'épaisseur moyenne de la nappe ruisselante pour des pentes et des débits variés.

Les données de cette expérience nous ont conduit à la formule suivante :

$$v = mh \sqrt{i},$$

v étant la vitesse moyenne de ruissellement, h l'épaisseur de la nappe ruisselante et i la pente. m est un coefficient qui varie avec la nature de la végétation recouvrant le sol. Cette formule est différente de la formule :

$$v = hki$$

que M. Ringelmann a donnée récemment, mais elle est analogue à celle que M. Crevat a indiqué d'après les déterminations de M. Carrier :

$$v = 20h \sqrt{i}.$$

Nous avons cependant trouvé pour la valeur du coefficient m , des chiffres notablement plus faibles : 7,5 pour de la terre couverte d'herbe longue, mais relativement peu fournie, 5 pour une terre couverte d'herbe bien fournie et un peu moussue.

L'état de la végétation qui recouvre le sol est un facteur important dans la distribution de l'eau sur les surfaces arrosées, mais l'agriculteur ne peut pas, en général, le faire varier. Quant à la pente, il peut la modifier par l'aménagement préalable du terrain. Il a avantage à lui donner une valeur un peu élevée, afin d'augmenter la vitesse de ruissellement, pour diminuer les volumes d'eau nécessaires à l'arrosage des terres.

DÉBIT DE LA NAPPE ARROSANTE. — Pour évaluer les limites entre lesquelles il est convenable de faire varier le débit de

(1) Note présentée par MM. A. MÜNTZ et LAINÉ à l'Académie des Sciences, séance du 7 juillet 1913.

la nappe arrosante, nous avons organisé une série d'essais sur des champs d'expérience choisis dans des terrains de natures diverses et dans des régions différentes. L'un d'eux, à l'École d'Agriculture d'Ondes (Haute-Garonne), se trouvait dans une terre argileuse peu perméable. Cinq autres étaient établis sur le périmètre du canal de Carpentras (Vaucluse), dans des alluvions anciennes ou modernes, moyennement perméables. Enfin, nous avons choisi comme type de terrains extrêmement perméables, une alluvion ancienne comprise dans le périmètre du canal de la Bourne, aux environs de Valence (Drôme).

Pour faire varier commodément le débit de la nappe arrosante, nous avons disposé dans chaque champ d'expérience trois calants de très grande longueur, mais de largeur respectivement égale à 5 m., 10 m. et 20 m. Ils étaient arrosés successivement avec un module M uniforme et bien mesuré, de sorte que, pour chacun d'eux, le débit de la nappe arrosante par mètre de largeur était égal à $M/5$, $M/10$ et $M/20$, variant ainsi comme les nombres 4, 2 et 1. Pendant l'arrosage, on observait la vitesse avec laquelle l'eau gagnait du terrain et l'on calculait l'intensité des arrosages correspondants. Les débits de la nappe arrosante les plus convenables, c'est-à-dire ceux qui correspondent à la meilleure répartition de l'eau et aux arrosages les plus réduits, ont été les suivants, en litres par seconde et par mètre de largeur :

CHAMPS D'EXPÉRIENCES	Perméabilité.	Débits optima.
Ondes.....	0,6	0,30
Carpentras.....	10 à 20	1 à 2
Valence.....	60	9,33

Ce qui est tout d'abord frappant à l'examen des chiffres de ces débits, ce sont les grandes différences qu'ils présentent selon la perméabilité des sols.

Dans les terrains extrêmement perméables, il faut donner à la nappe déversante un débit élevé, sinon toute l'eau s'engouffre au voisinage immédiat de la rigole de distribution et n'arrive pas à humecter des points un peu éloignés. Dans les terrains très peu perméables, au contraire, on peut donner à ce débit des valeurs beaucoup plus faibles. On ne peut cependant descendre notablement au-dessous du chiffre de 0,30, sous peine de voir la nappe arrosante se diviser en filets isolés qui n'arroseraient que partiellement le terrain.

Quel que soit le degré de perméabilité, le débit optimum de la nappe est voisin d'un minimum au-dessous duquel l'arrosage devient impraticable. D'autre part, ce débit ne peut pas s'accroître au-dessus de certaines limites. Le calant ne devant recevoir que la quantité d'eau juste nécessaire pour l'humecter sur toute sa surface, il faut cesser l'arrosage au moment précis où la nappe a gagné suffisamment de terrain pour atteindre, en s'égouttant, les parties qui sont les plus éloignées de la rigole de distribution. Or, ce point est très délicat à saisir si la nappe déversante a un débit, et, par suite, une épaisseur trop grande.

On diminuera donc les difficultés pratiques et les frais de main-d'œuvre, en même temps que l'on réalisera une importante économie d'eau, en donnant à ce débit une valeur aussi faible que possible.

LARGEUR DES CALANTS ET MODULES. — En vue de diminuer le temps à consacrer aux arrosages et de réduire les frais de main-d'œuvre, il y a avantage à donner aux calants une largeur aussi grande que possible, mais qu'on ne peut pas exagérer sous peine de rendre très difficile la répartition régulière de l'eau. On ne peut pas non plus avoir des calants très larges dans les pays où la propriété est très morcelée et les champs très étroits. En somme, la fixation de la largeur des calants résulte de considérations étrangères à la nature physique du terrain. La valeur du module dérive

de cette donnée, en même temps que du débit de la nappe arrosante. Les observations que nous avons effectuées sur le périmètre des canaux nous ont conduit aux chiffres donnés dans le tableau suivant :

STATIONS	Débit optimum de la nappe	Largeur moyenne des calants.	Module résultant.	Module adopté pour le canal.
Saint-Martory.	0,30	50m	15	42
Carpentras.....	1 à 2	20 à 25	20 à 50	33 à 42
Bourne.....	9,33	20	187	28

Les modules qu'il faudrait adopter, selon nos observations, et ceux qui sont réellement en usage, sont loin d'être concordants. Ainsi, le canal de Saint-Martory, auquel conviendrait un module réduit, possède, au contraire, un module assez élevé, tandis qu'on a choisi pour le canal de la Bourne un module faible, au lieu du grand module qui serait en rapport avec les propriétés physiques des terres qu'il dessert. Ces discordances rendent l'application de l'eau difficile ou onéreuse, quelquefois même impraticable. Au nombre des causes qui ont paralysé le développement des arrosages pour ces deux canaux, il faudrait, selon nous, inscrire en première ligne le choix du module.

Au contraire, le canal de Carpentras a adopté, après quelques tâtonnements, un module variable selon la perméabilité des quartiers à desservir, et qui concorde ainsi avec celui que nos essais font regarder comme convenant le mieux à la nature des terres de son périmètre. Pour ce canal, qui peut être considéré comme un modèle d'intelligente adaptation, l'expérimentation directe conduit aux mêmes conclusions qu'une longue pratique culturale.

LONGUEUR DES CALANTS. — Sur un calant arrosé par déversement et qui reçoit ce que nous avons défini plus haut, l'arrosage *minimum*, l'eau n'est pas répartie d'une façon uniforme en tous ses points. L'arrosage est plus intense dans les parties les plus rapprochées de la rigole, qui sont submergées pendant tout le temps mis par la nappe pour gagner les points les plus éloignés. Cependant, on n'y remarque jamais de différences dans la végétation, ni dans le rendement en fourrage. Les parties les moins arrosées le sont donc d'une façon suffisante, et sur les autres, qui ont reçu plus d'eau, une partie de cette eau n'est pas utilisée et se perd dans les drainages. Ces pertes peuvent être réduites en diminuant la longueur du calant. C'est ce que nous avons constaté directement par des essais effectués dans trois champs d'expériences organisés aux environs de Carpentras.

On avait aménagé : 1° un calant de 10 m. de longueur sur 10 m. de largeur ; 2° trois autres calants qui avaient encore 10 m. de largeur, mais seulement 5 m. de longueur. On effectuait l'arrosage tous les 7 jours et demi avec le module uniforme de 10^l par seconde. Le calant de 10 m. de longueur recevait l'eau pendant le temps juste nécessaire pour l'arroser sur toute sa surface. On donnait ensuite à chacun des calants de longueur réduite un arrosage avec le 1/4, le 1/3 et les 5/12 de ce temps ; chacun d'eux recevait donc 1/2 volume, 1/3 de volume et 5/6 de volume d'eau, l'unité de volume étant, rapportée à l'unité de surface, l'arrosage donné au calant de 10 m. de longueur. Calculés en débit continu par seconde et par hectare, les volumes d'eau d'arrosage ont été les suivants :

CHAMPS D'EXPÉRIENCES	Perradon.	Croisières.	Croix-Couverte
Perméabilité du sol.....	3.	10	12
Calant 1, 10m de longueur ..	0,71	0,89	0,89
» 2, 5m » ..	0,59	0,74	0,74
» 3, 5m » ..	0,48	0,59	0,60
» 4, 5m » ..	0,35	0,44	0,45

Pour le calant 1 l'arrosage a correspondu à l'arrosage complet minimum.
 » 2 » à un excès d'eau.
 » 3 » à l'arrosage complet minimum.
 » 4 » à un arrosage incomplet (1/5 sur l'aire)

Pour obtenir l'arrosage complet minimum, on a fait, sur des calants de 5 m. de longueur, par rapport à des calants de longueur double, toutes choses égales d'ailleurs, une économie du tiers de l'eau d'arrosage. La pesée des récoltes nous a démontré que les rendements en fourrage étaient identiques sur toutes les parcelles ayant reçu un arrosage complet.

On réalisera donc une importante économie d'eau, en donnant aux calants une longueur aussi réduite que possible. L'économie est d'autant plus grande que le sol est plus perméable ; les calants courts s'imposent surtout dans les terrains de grande perméabilité.

CONCLUSIONS. — De ces recherches il faut conclure que l'arrosage minimum, qui donne toujours les meilleurs résultats culturaux, n'est qu'un arrosage minimum relatif, puisqu'il dépend de la pente, de la végétation, du module et des dimensions des calants. Il représente toujours un notable excès sur les besoins réels en eau de la récolte. Il faut chercher à le réduire par le choix rationnel des facteurs dont il est la résultante. De ces facteurs, un seul, le module, est fixé par le règlement du canal. Les autres, qui expriment en réalité l'aménagement du terrain, ne peuvent être imposés à l'usager. Leur amélioration se traduit tout d'abord par une augmentation des dépenses, mais il en résulte aussi sûrement des récoltes et des bénéfices plus élevés. En attendant que l'agriculteur soit persuadé que, dans son intérêt particulier, comme dans l'intérêt général, il doit s'efforcer de réaliser des économies d'eau, il serait à désirer que les règlements des canaux d'irrigation l'intéressent directement à ces économies en lui concédant l'eau au volume et non à la surface arrosée. Cette conclusion s'identifie avec le principe que MM. Müntz et Faure ont posé au début de ces longues recherches.

TRAVAUX PUBLICS

LE RHONE DE MARSEILLE A GENÈVE

Nous avons commencé, le mois passé, la revue des rapports présentés au IV^e Congrès de Navigation Intérieure à Nantes qui peuvent intéresser plus particulièrement nos lecteurs. Nous compléterons cette étude en empruntant à M. DE DUMAS, Directeur de l'Office des Transports des Chambres de Commerce du Sud-Est, la partie de son rapport sur le Rhône de Marseille à Genève où il montre d'une manière claire et complète que des taxes minimales prélevées sur les marchandises transitées serait suffisantes pour rémunérer le capital engagé dans cette opération.

EVALUATION DU TRAFIC PROBABLE DU RHONE AMÉLIORÉ. — Il paraît intéressant de chercher à évaluer approximativement quelle pourrait être la répercussion sur le trafic du Rhône, des améliorations dont nous venons de rappeler l'utilité, et en particulier de celles que procurerait à la navigation la réalisation du programme préconisé l'an dernier par le Jury du Concours d'avants-projets d'aménagement du Rhône, organisé par l'Office des Transports des Chambres de Commerce du Sud-Est⁽¹⁾.

Dans un remarquable rapport présenté à la Chambre de Commerce de Lyon, M. le Président COIGNER cherchant à déterminer le trafic probable d'un canal latéral au Rhône — après avoir constaté que le trafic de la Seine entre Paris et

le Havre atteint 58 % du trafic total, que celui de la navigation de la Saône prend 29 % du trafic total entre Paris et Lyon, tandis que sur le Bas-Rhône, cette proportion n'est que de 6,8 % — tient le raisonnement suivant :

« Si le canal latéral existait, quelle proportion de ce trafic de 4 082 000 tonnes prendrait la Navigation ? Peut-on espérer le taux de 58 % qui existe sur la Seine, ou ne faut-il tabler que sur celui de 29 % que la navigation prend de Paris à Lyon ? Il faut remarquer que le trafic de la Seine aboutit à un grand port maritime, le Havre, situation comparable à ce que serait Marseille pour le trafic Marseille-Lyon. D'un autre côté, si on examine de quoi se compose le trafic, on voit que 40 % environ est constitué par les combustibles minéraux. Dans la vallée du Rhône, le trafic de la navigation en combustible n'est que de 3 % du trafic total de la navigation. Mais cette situation tient à l'absence de ports de raccordement bien outillés à Givors et à l'Ardoise, au débouché des bassins houillers de la Loire et d'Alais, et plus encore peut-être aux tarifs élevés du chemin de fer de la mine au Rhône. Cette situation changerait-elle avec le canal latéral ?

« On peut espérer qu'on établirait alors des ports de raccordement ; mais rien ne prouve qu'on obtiendrait un abaissement de tarifs de la mine au canal. On peut penser toutefois que le seul abaissement du fret sur le Rhône enlèverait une partie du trafic de la houille au chemin de fer. Le tonnage de ce trafic, sur le réseau P.-L.-M., a été en 1905 de 8 174 000 tonnes sur 27 757 000 tonnes de trafic total, soit 29 %. Pour la navigation sur la Saône, on trouve de même que les combustibles forment 29 % du trafic. On peut donc penser qu'il en serait de même pour le Rhône, et que même la houille anglaise arrivant par le port de Marseille donnerait un chiffre supérieur.

« Pour toutes ces considérations, on peut admettre que, dans le partage qui se produira entre le chemin de fer et la navigation, cette dernière prendra une proportion intermédiaire entre les 58 % de la Seine, et les 29 % de la Saône, soit la moyenne de 43 %.

« Dans son rapport, à l'appui de l'avant-projet du canal latéral, M. Armand, ingénieur en chef de la navigation du Rhône, adopte le coefficient de 38 % qu'avait indiqué en 1901, M. Guérard, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, auteur du projet du canal de Marseille au Rhône, et qui est la part de la navigation dans le trafic total de Paris à Nancy. Mais, comme nous le disions plus haut, l'exemple de Nancy est moins probant que celui de la Seine, car le trafic de Paris à Nancy n'aboutit pas à un port de mer. Si nous voulions prendre un exemple à l'étranger, nous voyons qu'à Hambourg en 1898, la navigation intérieure a pris 66 % du trafic total. Nous croyons donc pouvoir adopter le coefficient de 43 %, comme devant s'établir à la longue.

« Si nous appliquons ce coefficient de 43 % au trafic total de Lyon à la Méditerranée de 1905, que nous avons vu être de 4 082 000 tonnes, nous arrivons au chiffre de 1 755 000 tonnes. M. Guérard arrivait, en 1901, au chiffre très voisin de 1 600 000 tonnes, par le raisonnement suivant : Le trafic total de Lyon à Marseille était à cette époque, de 2 908 000 tonnes, dont 2 667 000 tonnes par le chemin de fer. Avec le coefficient de 38 %, la navigation doit enlever un million 105 000 tonnes. Mais le chemin de fer défendra son tonnage et ce n'est que lorsque le tonnage total aura atteint 4 millions 300 000 tonnes que l'équilibre s'établira avec :

62 % pour le chemin de fer ou 2 666 000 tonnes.

38 % pour la navigation ou 1 634 000 tonnes.

« En raisonnant de la même façon, avec les chiffres de la

(1) Voir à ce sujet, *La Houille Blanche*. (Mars, Mai, Juin, Juillet 1912).