

LA HOUILLE BLANCHE

REVUE GÉNÉRALE DES EMPLOIS COORDONNÉS
DE L'ÉNERGIE HYDRAULIQUE ET DE LA HOUILLE NOIRE

NOUVELLE SÉRIE. — DIX-NEUVIÈME ANNÉE

N° 152. — Janvier-Février 1920

SOMMAIRE N° 162

C'est la coordination des emplois de nos Forces hydrauliques et de notre Charbon qui rendra son indépendance à l'Industrie française.

A propos de l'Irrigation (J. LEMARCHANDS, Agrégé de l'Université). — L'Étude des Coups de Bélier dans les Canalisations métalliques sous pression (suite), C. CAMICHEL, Directeur de l'Institut électrotechnique de Toulouse. — Les Fours à induction et leur application dans l'industrie du fer et de l'acier (W. ENGELHARDT). — L'Électrification de nos Réseaux ferrés (A. MAUDUIT, Professeur d'Électrotechnique à l'Université de Nancy). — Avantages et Inconvénients des divers systèmes de transformation de courant alternatif à haute tension en courant continu (F. SARRAT, Ingénieur à la Compagnie générale de Railways et d'Électricité). — Imprégnation, Sènilisation et Ignifugation des Bois d'Industrie (Jean ESCARD, Ingénieur civil, Lauréat de l'Institut). — Revue des Sociétés savantes et des Publications scientifiques (Académie des Sciences, Académie d'Agriculture). — Revue des Publications étrangères. — Nouvelles Perspectives pour la Houille blanche — Informations. — Bibliographie.

A PROPOS DE L'IRRIGATION

Dans les numéros juillet-août, septembre-octobre 1919 de la *Houille Blanche*, nous avons exposé, en nous basant sur les travaux de MM. Müntz et Lainé, la nécessité d'études préliminaires sérieuses dans tout projet d'irrigation. La connaissance du degré de perméabilité des terrains, la quantité d'eau à déverser, les conditions climatiques sont les facteurs les plus essentiels à considérer.

Nous établirons aujourd'hui, par un exemple précis, l'influence de ces facteurs, en montrant comment l'action combinée d'une perméabilité forte des terrains superficiels, d'un climat chaud à évaporation intense, d'une irrigation trop exagérée peuvent entraîner de véritables désastres dans des contrées soumises à l'irrigation. Nos lecteurs connaissent déjà, en France, l'exemple du canal de la Bourne ; celui du réseau d'irrigation du Rio Grande, aux Etats-Unis, objet de cette étude, est encore plus démonstratif.

La méconnaissance certaine, de la part des usagers, des quantités d'eau à donner par l'irrigation a été la cause essentielle des phénomènes observés dans les terrains irrigués avoisinant le Rio Grande. L'étude des conditions exactes qui ont déterminé par la filtration rapide de l'eau, la saturation et même l'ennoyage des terres cultivées est d'un grand intérêt, elle peut seule permettre d'apporter les remèdes nécessaires. J.-L. Burkholder, ingénieur spécialiste des questions de drainage attaché à l'U. S. Réclamation Service a apporté une contribution sérieuse à cette question dans un article publié dans *Engineering News-Record* (septembre 1919).

La méthode de travail employée dans l'exécution des travaux du drainage, le prix de revient du projet sont aussi l'objet d'une étude très documentée.

De tels renseignements sont précieux à avoir, surtout à une époque où les vastes projets d'irrigation comme ceux de la vallée du Rhône semblent vouloir entrer dans la phase des réalisations.

L'infiltration, écrit M. Burkholder, est un danger dans la pratique des irrigations agricoles ; dans ces dernières années

un certain nombre de grands projets d'irrigation ont été contrariés par de tels phénomènes, et l'attention a été fortement attirée sur ce côté nouveau et fâcheux de l'emploi de l'arrosage.

Dans beaucoup de cas, il est vrai, le drainage naturel du sol est suffisamment intense pour éliminer facilement l'excès d'eau apporté et les effets désastreux d'une infiltration trop forte se sont limités à des aires peu étendues. Dans d'autres cas cependant, il n'en a pas été de même et le projet du Rio Grande en fournit un exemple remarquable.

Le réseau d'irrigation du Rio Grande est situé sur les rives de la rivière Rio Grande, dans les Etats de Nord Mexico et du Texas (Etats-Unis). Il est alimenté par l'eau du cours d'eau qui lui a donné son nom et l'appoint d'eau total provient des réserves emmagasinées dans le bassin de l'« Elephant Butte ». Ce barrage peut contenir 320 millions de m³.

Ce réseau s'étend sur une surface très grande, 800.000 hectares, placée dans trois vallées nommées, en allant du Nord au Sud : Rincon, Mesilla, El Paso. Les vallées de Mesilla et El Paso qui forment la plus grande partie de la surface à irriguer sont séparées par une passe rocheuse et par les hauts plateaux sur lesquels la ville d'El Paso (Texas) est située. L'élévation moyenne approximative de l'aire irrigable est 1.080 m. au-dessus du niveau de la mer, environ 60 % de cette surface est cultivée enalfa.

L'étendue à irriguer dans ces vallées est formée par les terrains du fond de la vallée constituant une bande de 8 km. de largeur limitée par des parois abruptes ou par le pied des collines. Les flancs de la vallée s'élèvent de 1^m20 à 1^m50 par km. et la surface du sol est, en général, plate sauf en quelques endroits où quelques petites collines de sable l'interrompent, ou encore quelque ancienne dérivation de la rivière la coupe.

La rivière déroule ses méandres à travers la plaine alluviale et a une longueur moyenne presque double de celle de la vallée elle-même. Par endroit, le lit se resserre contre les parois escarpées, découpant la surface irrigable en unités ou parcelles naturelles. De telles unités déterminent en quelque sorte, à la fois le système d'irrigation et celui de drainage

en définissant les divisions nécessaires du canal et les points de sortie des drains.

Le lit de la rivière est très large, peu profond et sableux. Avant la construction de la digue de l' « Elephant Butte » il y avait des flots torrentiels occasionnels, charriant de grandes quantités de matériaux, suivis de périodes à débit réduit, parfois même nul. Dès les périodes de crue, les tributaires de la rivière déversent des quantités de graviers grossiers et de boue qui logées dans le canal de la rivière forment une obstruction presque permanente au passage de l'eau. Ces conditions déterminent de fréquents changements dans le lit du Rio Grande, comme le témoignent les anciens lits et les bras marécageux existant à travers la vallée.

Le lit actuel de la rivière est ordinairement de 1^m2 à 2^m5 au-dessous de la surface des terrains de bordure. La pente de la surface du sol, normale à la direction générale de la rivière est assez variable mais toujours comparativement faible. Souvent le terrain s'incline à partir des bords du cours d'eau, et en quelques places le lit même est plus élevé que certaines portions de la vallée. Fréquemment aussi les parties situées vers les flancs abrupts limitant la vallée, sont les plus basses tandis que dans d'autres points la surface du pays a une inclinaison marquée vers la rivière, cela sur des étendues considérables.

Le terrain est sédimentaire et présente des caractères très variés. Argiles, sables fins et vases sont les éléments principaux ; ils existent sans uniformité dans des poches, en taches de petites étendues laissées là par les eaux. Un fait est à noter dans la répartition du sable, c'est sa situation partout de 1^m8 à 3 m. en-dessous de la surface.

Telle est la topographie des lieux et la constitution superficielle des terrains irrigués. M. J. Burkholder ne donne pas de précisions sur quelques points qui nous semblent d'un grand intérêt comme causes des phénomènes décrits plus loin. Quelle est la constitution géologique du sous-sol, le terrain alluvionnaire repose-t-il sur des roches cristallines ou sur des sédiments calcaires ou argileux, son épaisseur est-elle forte ? nous ne le savons pas d'une manière très précise. Cependant le forage de puits atteignant 18 m. ne semble avoir donné comme matériaux trouvés à la base que des graviers grossiers. L'épaisseur des alluvions serait ainsi très grande.

De même nous n'avons pas de données sur la climatologie ; du fait cependant de la situation géographique du pays, compris dans des limites de latitude comparables à celles du Maroc et de la Tunisie, de sa position loin des mers nous pouvons conclure à un climat chaud, aux pluies peu fréquentes. La culture prédominante de l'alfa vient corroborer cette supposition.

L'irrigation pratiquée par les indigènes, Mexicains ou Espagnols remonte à 300 ans dans certains districts. Des travaux récents ont été exécutés par les habitants avec un contrôle commun. Cette irrigation primitive dépendait presque entièrement du débit naturel de la rivière et l'eau utilisable était insuffisante pour l'aire totale de la vallée, en outre, fréquemment elle était trop réduite pour n'importe quelle irrigation après juillet.

Avec l'arrivée des fermiers américains, des systèmes de tranchées furent établis et de nombreuses petites usines destinées à pomper l'eau furent installées pour fournir l'eau d'irrigation dans la saison avancée. Ces usines tiraient l'eau souterraine et leurs conduites s'enfonçaient de 12 m. à 18 m. dans les graviers et le sable grossier. Le réservoir de

l' « Elephant Butte » fut commencé en 1912 et la première quantité d'eau emmagasinée fut utilisable pendant la saison d'irrigation de 1915. L' « U. S. Réclamation Service » a également construit de nombreuses digues de dérivation et les principaux canaux d'alimentation avant 1915. Les nombreuses tranchées établies auparavant, restèrent comme partie du système permanent d'irrigation et furent alimentées par les canaux principaux construits par l'Etat. L'augmentation de la quantité d'eau ne se traduisit pas par un accroissement immédiat de la surface irriguée, mais par un volume d'eau considérable donné aux terrains déjà appropriés ; il est alors probable que les pertes d'eau à travers les nouveaux canaux furent considérables tant que ces canaux ne furent pas envasés.

Un autre résultat de l'établissement de réservoir, fut la clarification de l'eau d'irrigation, jusque-là très boueuse. L'emploi d'eau claire fut cause d'une élévation de la vitesse de perte des eaux par filtration, l'eau claire étant facilement absorbée par le sol.

L'infiltration était facile, en effet, dans des sols superficiels sans doute très perméables. Nous n'avons, il est vrai, aucune donnée sur cette perméabilité et il nous est très difficile de faire une hypothèse quelconque à ce sujet. Les sols d'alluvions peuvent présenter, à cet égard, des différences considérables ; des sables et graviers grossiers sont évidemment facilement perméables, mais là où l'argile domine, où elle forme en quelque sorte un ciment enrobant les sables et les graviers, le degré de perméabilité peut être très bas. Quoiqu'il en soit, la nappe aquifère s'éleva très rapidement, effet sans doute d'un sous-sol imperméable et peu éloigné de la surface.

Des mesures nombreuses et rassemblées en un tout furent faites de cette élévation ; les conclusions à en tirer, transmises aux usagers, mais peu de créance fut accordée à la prédiction faite de bonne heure par les ingénieurs, que de vastes surfaces seraient saturées d'eau, ennoyées ou même submergées totalement. L'évaporation superficielle intense amena le dépôt de croûtes salines.

Dès 1917, 70 % de la surface du projet était atteinte par l'infiltration et l'ennoyage, ou en danger immédiat de le devenir.

Cela fut surtout très net dans le cas de l'irrigation des prairies, les fermiers ne pouvant pas immédiatement préparer leurs terres pour utiliser convenablement l'eau donnée, établir par exemple des têtes d'irrigation suffisamment larges. Encore, ajouterons-nous, fallait-il qu'ils connussent la quantité d'eau exacte à utiliser ; sans aucun doute en firent-ils un emploi plus qu'exagéré.

Avec l'augmentation de l'irrigation les troubles dus à l'infiltration, qui auparavant avaient été confinés à des surfaces de petites étendue, devinrent rapidement désastreux. L'étendue du mal est bien caractérisée par la surface cultivée en alfa et la production correspondante. En 1914 et avant, 16.000 hectares étaient plantés en alfa et la production moyenne pour les années d'irrigation moyenne était de 8,75 tonnes par hectare. En 1917, seulement 10.800 hectares étaient réservés à l'alfa et la production moyenne descendait à 5,25 tonnes à l'hectare.

L'ascension de l'eau souterraine est bien illustrée par les courbes de la figure 1, ces courbes représentent la profondeur moyenne, en-dessous de la surface, du niveau de la nappe d'eau souterraine dans 20 puits témoins de la vallée El Paso. Ces graphiques montrent également l'effet du drainage sur ce niveau. Deux drains sont actuellement en

construction dans l'aire envisagée et l'effet maximum du drainage ne sera apparent qu'après de nouvelles mesures.

L'ennoyage affecta naturellement d'abord les plantes les plus profondément enracinées telles que l'alfa, mais avec la concentration des sels alcalins et l'élévation ultérieure de l'eau souterraine, les plantes à racines superficielles furent aussi endommagées. Par places, les incrustations alcalines rappelaient une légère chute de neige. Des surfaces étendues devinrent inaptes à une culture rémunératrice ; les régions basses et les délaissés de la rivière s'emplirent d'eau stagnante. Les végétaux des terrains humides, les plantes salines poussèrent abondamment sur les champs et au bord des routes, l'eau des puits domestiques devint non potable, les moustiques et les mouches affluèrent et l'état sanitaire de toute la contrée riveraine devint mauvais. L'entretien des grandes routes fut difficile, les chemins ruraux souvent étaient impraticables.

L'étendue du mal est établie par le tableau I :

TABLEAU
SURFACES ENVAHIES EN JUIN 1917

CONTRÉES	SURFACE TOTALE en hectares	PROFONDEUR DE L'EAU SOUTERRAINE AU-DESSOUS DE LA SURFACE									
		Eau à la surface		Eau de 0 ^m à 0 ^m 60		Eau de 0 ^m 60 à 1 ^m 20		Total des surf ces précédentes		Total des surfaces à eaux plus profondes que 1 ^m 20	
		Aire	%	Aire	%	Aire	%	Aire	%	Aire	%
Vallée Mesilla	88.685	3 800	4,3	16 093	18,1	38 821	43,8	58 714	66,2	29 971	33,8
Vallée El Paso	45 096	2.045	4.5	8 802	19,5	20.251	45,0	31,098	69,0	13.998	31,0

Il fut bientôt évident que l'alcalinisation du sol et l'infiltration souterraine devenaient rapidement de plus en plus intenses. Si on ne les réfrénait pas, des surfaces croissantes seraient atteintes jusqu'à ce qu'une étendue de terrain assez étendue fut devenue marécageuse pour déterminer par l'évaporation un drainage suffisant pour le reste du pays. Chaque année les réclamations s'élevaient plus pressantes et en fait, sans drainage la majorité des fermiers aurait été forcée d'abandonner les fermes.

Des recherches pour le drainage furent donc entreprises afin de remédier à cette situation. Des cartes topographiques excellentes au 1/6000 environ, avec des lignes de niveau à 0^m60 existaient. On installa des puits témoins permanents dans les sections à peu près normales au lit de la rivière. L'intervalle entre les sections à nombreux puits témoins était ordinairement de 800 m., parfois double. L'intervalle entre les puits témoins de chaque section était de 400 m. environ. Ces puits furent creusés dès le commencement de 1915 et les mesures relatives à l'eau souterraine étaient faites bi-mensuellement de sorte qu'en 1917 il y avait des données considérables sur le mouvement et l'ascension progressive de l'eau souterraine.

Les mensurations faites en juin 1917, saison d'irrigation moyenne, furent utilisées en connexion avec les cartes topographiques pour préparer des cartes de drainage. Les contours de l'eau furent tracés à 0^m60 d'intervalle à partir des élévations d'eau souterraine, et par l'intersection des contours d'eau avec ceux de la surface topographique, les aires ayant de l'eau d'infiltration superficielle, puis celles dont l'eau était de 0 à 0^m60 de la surface, ensuite de 0^m60 à 1^m20, enfin au-delà de 1^m20, furent délimitées sur la carte. Les aires d'infiltration ainsi définies furent coloriées et apparurent d'une manière frappante, leur surface fut déterminée par planimétrie.

Ces cartes, jointes aux sondages des puits donnèrent le moyen d'étudier les conditions préalables de l'établissement d'un système de drainage. D'autres données à considérer furent les périodes d'application de l'eau d'irrigation, la perte d'eau par filtration dans les canaux, l'évaporation de l'eau libre et de l'eau dans les régions envahies, les méthodes d'irrigation et la préparation de l'irrigation, enfin les formations structurales de la vallée agissant sur le drainage naturel.

Les principales causes de l'infiltration et de l'élévation de la nappe aquifère furent établies ; ce sont les suivantes : 1° perte d'eau par filtration ; 2° absence de tout drainage naturel un peu important ; 3° perte d'eau à partir du lit de la rivière ; 4° faible élévation de certains terrains vis-à-vis de la surface de l'eau de la rivière.

Il semble bien que l'on puisse ajouter également à ces causes l'uniformité de la culture de l'alfa. L'alfa, comme la plupart des graminées, est une plante à transpiration peu

active évitant l'humidité ; l'évaporation par les feuilles peu intense ne pouvait donc aider au drainage d'un sol saturé.

Les pertes d'eau par irrigation doivent être regardées comme la cause primordiale des phénomènes observés. Lorsque l'eau du réservoir fut utilisable, plusieurs localités détournèrent beaucoup plus que 9 000 m³ d'eau pour l'irrigation. Aucun contrôle n'existait vis-à-vis des quantités d'eau délivrées, et aucune mesure directe de l'eau donnée aux fermes n'était faite. De plus grandes tranchées auraient été nécessaires, de même que les terrains eussent dû être aménagés en de courts espaces à irriguer afin d'utiliser efficacement l'eau claire. Il eut fallu une éducation individuelle de chaque fermier pour réajuster ainsi l'ancien système d'irrigation. Le programme éducatif avait bien été mis en œuvre, mais les travaux de reconstruction nécessitaient une longue période, cependant de tels travaux sont en action dans beaucoup de points du projet à l'heure actuelle.

Le drainage naturel, en considérant la vallée totale, fut reconnu nul car les vallées séparées sont en somme des bassins clos sans déversoirs souterrains autres que les matériaux peu épais du sous-sol. La section transversale de ces déversoirs est faible, spécialement de la vallée Mesilla, où le professeur Charles S. Slichter, l'évalua, elle excluait tout mouvement profond d'une quantité assez forte d'eau.

Les conclusions en faveur d'une perte d'eau probable par la rivière, furent établies par l'étude de la position des contours d'eau souterraine sur les cartes. Dans certaines localités le mouvement de l'eau est dirigé hors de la rivière dans d'autres il est à partir du terrain. Là où la tendance à l'écoulement est à l'extérieur de la rivière, l'on peut conclure qu'une perte d'eau considérable se produit. Certaines aires restreintes ont un niveau suffisamment bas vis-à-vis du niveau du cours d'eau, pour que leur submersion fut

inévitables, comme conséquence directe des pertes de la rivière ; dans le cas de terrains loin du fleuve, comme conséquence des pertes d'irrigation dans les sols plus élevés.

Les études pour le drainage amenèrent la connaissance de certains faits et conditions régissant les lignes générales d'un projet de drainage. On peut les établir ainsi :

1) Il est nécessaire d'agir avec une grande circonspection dans l'usage de l'eau et il est impossible d'établir des plans de drainage basés sur l'utilisation présente de l'eau ;

2) Les pentes à surface plane et les rives basses du cours d'eau doivent posséder aussi peu de déversoirs de drainage que possible ; il faut surtout de longs drains parallèles au cours général de la rivière ;

3) Les drains doivent être ouverts au-dessous du lit de la rivière ; des drains à issue sont en partie inopérants à leur extrémité inférieure si la pente s'accroît ;

4) La position des drains vis-à-vis de la rivière dépend de la nécessité, plus ou moins grande, d'intercepter les pertes d'eau de la rivière ; dans certaines localités il faut les placer aussi près que possible du lit, dans d'autres la position désirable est distante de 600 à 900 m. du cours d'eau ;

5) Les pentes plates et la nécessité d'absorber de grandes quantités d'eau, ainsi que les conditions imposées par les sables mouvants existant à des profondeurs diverses excluent l'emploi de drains en tuiles seules.

Des études concernant l'adoption d'un plan de drainage et l'évaluation de son prix furent faites sur la base des cartes. Ces cartes représentent, en somme, d'après M. Burkholder, l'ensemble de toutes les conditions physiques importantes et des données régissant le problème. Elles indiquent nettement les conditions d'infiltration, les possesseurs du sol, les tranchées, les routes, la topographie superficielle, la direction du flot souterrain, etc.

A notre avis nous leur trouvons cependant une grave lacune, c'est l'absence des degrés de perméabilité qui, une fois établis, doivent être indiqués à même sur ces cartes. N'est-ce pas là une des causes essentielles, sinon fondamentales du problème ?

Des systèmes variés de drainages furent établis ainsi sur les cartes et comparés quant au prix de leur revient et à leur efficacité probable ; par élimination les meilleurs tracés furent enfin déterminés. Le système adopté est dénommé le « tentative plan » car il est sujet à changer du fait des informations rendues utilisables par le progrès des travaux. L'expérience a montré qu'il était impossible d'estimer correctement l'efficacité d'un drain et de prévoir toutes les difficultés de construction relatives aux travaux dans une localité déterminée ; un programme flexible est donc essentiel pour obtenir les meilleurs résultats. Nous empruntons directement à l'étude de M. Burkholder les renseignements statistiques suivants :

Le plan de drainage adopté pour le Rio Grande prévoit la construction de 505 km de drains ouverts pour desservir 70 000 hectares dans les vallées Mesilla, El Paso et Rincon. Ces drains nécessitent une excavation de 10.520.000 m³ environ. Le prix de revient est estimé à 85.000 000 francs soit à peu près 1.700 francs par kilomètre, en comptant tous les frais directs et indirects. Le coût de l'excavation seule est évalué à 0 fr. 20 par m³. Le travail est fait par des dragues excavatrices. La largeur basale minimum attribuée aux drains est de 1^m8, la largeur maximum 9 m. La profondeur moyenne de la tranchée est environ 3 m, sauf lorsque les drains déversoirs atteignent la rivière, auquel cas la tranchée s'accroît de manière à rencontrer le lit de la

rivière. La largeur de base fut plus tard amenée à 3 m., car les flancs ne tenaient pas.

Les excavations furent faites avec des dragues excavatrices et les plans prévoyaient le dépôt de tous les matériaux excavés sur un côté de la tranchée, excepté là où une basse levée était à construire sur le côté opposé du drain afin d'empêcher le plan d'eau de déborder au-dessus des bords. Il fut considéré comme essentiel de laisser une rive du drain libre de tous dépôts, afin de faciliter les futurs travaux de nettoyage.

L'intervalle entre les drains fut établi sur les bases suivantes : un drain établi devait amener une élimination d'eau souterraine d'environ 3.000 m³ par hectare annuellement pour que le drainage soit suffisant, et un km de drains doit soutirer environ 0 m³ 18 d'eau par seconde. En outre, il fut bien établi que l'usage de l'irrigation devait être rationnel ; l'on insista beaucoup sur ce point auprès des usagers, que le drainage ne serait de valeur qu'autant que le terrain serait préparé convenablement pour l'irrigation et que l'économie la plus grande serait pratiquée dans l'utilisation de l'eau. Tout à fait exact, pouvons-nous ajouter, mais qu'entend-on par plus grande économie ! Il faut aux cultures et aux terrains une quantité d'eau bien déterminée ; ce n'est pas au pouvoir des fermiers de la calculer, mais c'est aux ingénieurs agricoles chargés des travaux d'irrigation, de les conduire.

Une profondeur moyenne de 3 m est considérée comme essentielle pour un afflux d'eau analogue à celui précité et indispensable aussi pour tenir le niveau de l'eau à une profondeur suffisamment forte au-dessous de la surface afin d'empêcher l'ascension de l'eau par capillarité. La haute teneur en sels alcalins du sol rendait nécessaire cet arrêt de l'évaporation en surface de l'eau souterraine.

Les sols boueux ont une grande aptitude à la capillarité, et il faut de 1^m20 à 1^m80 de terre non saturée pour pratiquer les diverses cultures.

En se basant sur les données précédentes l'on établit les drains à des distances variant de 0 km. 8 à 1 km. 200, on prit également, en considération des conditions locales, comme la forme d'une surface particulière considérée et aussi la direction probable des mouvements de l'eau souterraine. Des irrégularités topographiques superficielles influent aussi sur la position des drains et il fut établi que les drains latéraux à la rivière drainaient une étendue inférieure aux autres par le fait d'avoir le fleuve sur un côté.

Les résultats obtenus par les drains construits sont pleinement encourageants. Les mesures dans les puits témoins indiquent une descente constante de l'eau souterraine vers les drains, environ 1 m. pour 10.000, dans les conditions d'irrigation moyenne ; très près de la section du drain, c'est environ 1^m50.

La décharge des eaux d'infiltration par le drainage est d'environ 210 litres à la seconde par km. pendant la saison de son irrigation, de 472 litres par seconde pendant l'irrigation ; ces quantités correspondent respectivement à 0,0014 et 0,0022 m. sec. par hectare.

Les mensurations relatives à l'eau souterraine, prouvent que les drains amènent un abaissement de la nappe à une distance normale maximum de 1 km. 200. A 0 km. 800 l'abaissement est marqué et sans doute suffisant pour déterminer un drainage efficace. Bien entendu le témoignage réel de l'efficacité des drains ne pourra être donné que lorsque tous auront été posés et que toute la surface drainée sera également soumise au régime de l'irrigation.

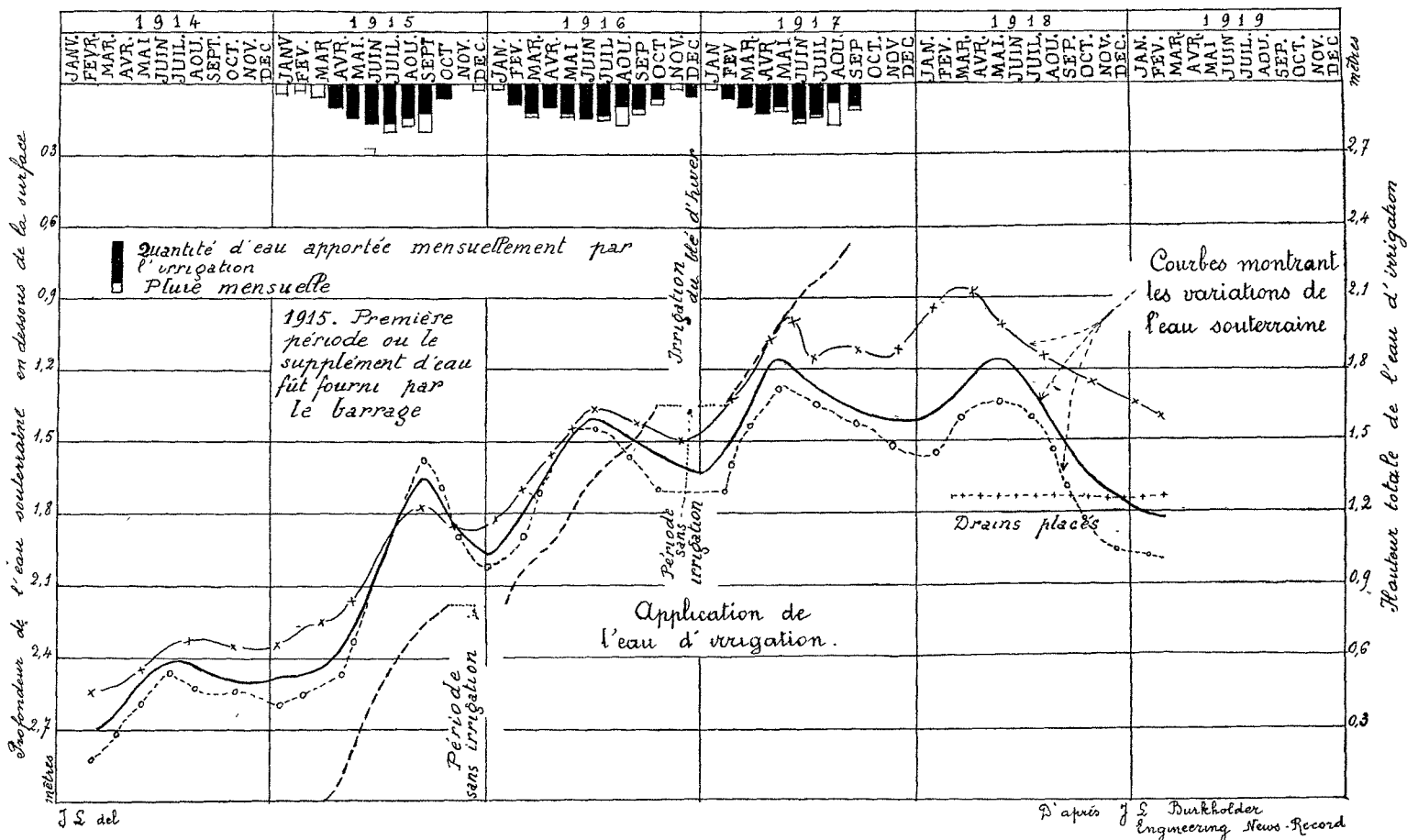
Il faut noter que les drains sont rapidement efficaces, l'on estime aujourd'hui à 12.000 hectares la surface totalement drainée, sans compter une surface additionnelle protégée contre l'infiltration. Les vieilles plantes d'alfa sont spécialement sensibles au drainage et leurs racines peu profondes pénétrèrent plus en avant dans le sol (1), presque immédiatement après qu'un abaissement du niveau de la nappe souterraine eut été réalisé. Toutes les plantes sont notablement plus vigoureuses dans les parties du projet, qui ont été drainées.

Il fut décidé de faire accomplir le projet proposé par l'Etat de manière à avoir plus de souplesse en ce qui concernait les changements ultérieurs nécessaires à apporter au plan. L'on pensa aussi que le coût serait moins onéreux,

produite par un moteur à pétrole de 6 cylindres développant 98 HP.

Des premières expériences, faites avec ces engins, l'on déduisit que d'autres machines plus puissantes et capables d'avoir une vitesse suffisante pour assurer une opération ininterrompue seraient préférables. Les constructeurs établirent lors un type à 4 cylindres, 125 HP. Ce changement fut opéré en août-septembre 1918, 4 nouvelles machines furent installées en octobre-novembre 1918.

Les dragues employées formaient donc un ensemble de 8 engins à traction par chenilles, auquel s'ajoutaient 2 machines plus petites (un mât de 12 m. augets de 0 m³ 75), une autre de mât égal à 18 m. avec augets de 1 m³ 50 et enfin une dernière de 12 m. de mât et auget de 0 m³ 75. Ce maté-



Variations de l'eau souterraine et application de l'irrigation dans le Rio Grande.

La surface totale étudiée égale 340 hectares sur lesquels 212 hectares nets furent irrigués jusqu'à une profondeur saisonnière moyenne de 1^m,30 qui, répartie sur l'ensemble des 340 hectares, donnerait une profondeur de 0^m,80. Des trois courbes du tableau, la courbe en trait plein est une moyenne des profondeurs obtenues dans vingt puits dispersés ; la ligne en petits cercles montre les lectures moyennes dans treize puits entre Belen et Clint (Texas) et la ligne avec des croix montre la profondeur moyenne de sept puits à Ysleta (Texas).

l' « U. S. Réclamation Service » possédant les éléments appropriés à ces sortes de travaux.

La qualité médiocre de l'eau pour les chaudières, l'absence de force électrique suffisante conduisirent à employer des dragues actionnées par des moteurs à combustion interne. Quatre machines semblables furent ainsi mises en action en juillet 1917. C'étaient des dragues de 1 m³ environ avec mât de 15 m, montées sur des tracteurs à chenilles. Chaque machine pesait 55 tonnes, la force était

(1) La transformation des racines en général assez profondes de l'alfa en racines superficielles est assez curieuse, facile d'ailleurs à s'expliquer si l'on connaît les conditions de végétation des plantes salines des terrains submergés sur les bords des océans. Là, également, les racines sont traçantes ; dans les deux cas nous avons affaire à une adaptation contre la salinité du sol produisant des phénomènes de convergence semblables.

riel est la propriété de l' « U. S. Reclamation Service » et actionné par lui-même.

L'équipage d'une drague est formé d'un mécanicien, d'un manoeuvre et de l'opérateur. Chaque machine est sous la direction d'un opérateur chef qui dirige le travail de l'équipe et est responsable de l'entretien de la machine et de sa production en général.

Les parties du mécanisme sont l'affaire du mécanicien. Toutes les machines sont actionnées par trois équipes de 8 heures, l'entretien général et le nettoyage sont faits le dimanche.

Des comptes soigneux sont tenus du temps d'emploi de la drague et des excavations qu'elle opère. Des rapports de plan uniforme sont fournis et chaque opérateur doit donner un rapport journalier. Ces rapports constituent la base de

rapports mensuels qui sont faits de manière à comparer les résultats obtenus par les machines différencés et les opérateurs individuels.

Un système de graduations comparatives est utilisé pour montrer l'état de chaque opérateur pour le mois. Ces degrés sont basés sur le coût, et l'excavation par équipe ; ils sont comparés aussi avec les résultats moyens produits par l'ensemble des opérateurs travaillant dans des conditions comparables. Les degrés indiquent si les exécutants sont au-dessus ou au-dessous de la moyenne du fait qu'ils sont au-dessus ou au-dessous de 100 %. Ces rapports très efficaces sont placés mensuellement sur chaque machine et dans chaque camp de travail ; un essai est fait pour reconnaître soigneusement tout record méritoire. De cette façon, une amicale rivalité est obtenue et le travail journalier devient une sorte de jeu dont l'intérêt le plus vif est concentré sur les résultats mensuels. Les bénéfices directs sont augmentés à la fois pour le travail individuel et le travail à la tâche, car des opérateurs médiocres souvent se perfectionnent sous l'aiguillon de l'amour-propre, tandis que les ouvriers non perfectibles, sont facilement remarqués et enlevés de leur travail.

Le travail effectué jusqu'au 1^{er} juin 1919 consiste dans l'excavation de 3.620.000 m³ pour 185 km de drains. Les 8 dragues avec tracteurs à chenilles obtiennent les meilleurs records ; le record mensuel le plus élevé a été de 56.000 m³ environ pour 76 équipes, et la moyenne mensuelle la plus élevée pour les 8 excavatrices a été de 38.000 m³ avec en moyenne 72 équipes. Le prix total est résumé ainsi :

Projet du Rio Grande

Prix de revient des travaux de drainage jusqu'au 1^{er} juin 1919

Drains construits par l'Etat.....	180 km
— — — les entrepreneurs.....	5 km
TOTAL.....	185 km

DÉTAIL	PRIX PAR UNITÉ			
	Prix total	Par km	Par m ³	Pourcentage
Excavation (Etat... 3.605.000m ³ Entrepreneurs 115 000m ³)	11.320.400f	63.171f 8	2f 38	51,2
	482.500f	90.104f 2	2f 87	1,8
Constructions	5 014.320f	27.952f	1f 04	23,3
Contrôle, Services.....	1.585.000f	862f	0f 30	7,2
Aménagement des chemins (1)...	857.800f	4.661f	0f 16	3,9
Dépenses supplémentaires (2)...	2.771.250f	15.061f	0f 8)	12,6
	22.031.270f			100.0

Des changements dans les plans primitifs furent introduits. Aussi il fut trouvé impossible de construire des drains de 1^m80 de base, étant donné la nature sableuse des parois, 3 mètres furent nécessaires au minimum. Fréquemment aussi, il faut recréuser le drain pour maintenir une profondeur suffisante ; cela après qu'une période de 10 jours à 2 semaines s'est écoulée, pendant laquelle l'eau courant dans les drains a constitué une surface plus nette.

Le prix des travaux de soutien forment 25 % du coût total ; ce prix est naturellement accru par les conditions

(1) La construction des canaux latéraux est aussi comprise dans ce chiffre.

(2) Entretien des machines, des camps, etc., charge de 0f 15 par m³ pour l'usure du matériel.

sableuses nécessitant un fort pilonnement pour toutes les constructions avec fondation.

Le béton est employé pour les plus importantes constructions, le bois pour les petites. Des quantités de tuiles de 90 cm. renforcées avec le béton sont utilisées pour les caniveaux sous les canaux et les routes. Les tuiles ont une longueur de 1^m80, elles sont faites près du chantier où l'on travaille, et y sont transportées sur des trucs ; les dragues les placent. On les encastre dans du béton en quantité suffisante pour assurer l'alignement et rendre les joints solides, on les pose à 1, 2 ou 3 en forme de tonneau suivant les besoins.

Ce type de caniveau est le meilleur marché et a l'avantage sur le type monolithique d'être plus rapidement posé. Cette vitesse d'installation est importante dans le cas de canaux transversaux car les récoltes dépendent surtout d'une irrigation ininterrompue. Les petits canaux latéraux et les rigoles des champs sont faites en métal porté sur une sous-structure de bois, les ponts les moins importants sont construits de bois, ils ont de 1 à 3 arches.

Tels sont quelques-uns des détails techniques de la vaste opération de drainage effectuée par les Américains afin de remédier au désastre véritable qu'un projet d'irrigation mal étudié, avait provoqué. La manière dont ces opérations de drainage ont été conduites, la détermination des bases qui ont servi à établir le plan de travail nous montrent avec quelle précision les ingénieurs américains opèrent et l'usage qu'ils font des données scientifiques. Mais il n'en est pas moins vrai que la dépense de tant d'efforts et de tant d'argent (une centaine de millions) eût pu être évitée si le projet d'irrigation lui-même avait été soumis à la recherche scientifique. L'exemple du Rio Grande est typique, il nous amène encore à formuler cette conclusion d'une importance pratique si grande qu'aucun projet d'irrigation ne peut être établi avant que les conditions physiques des terres auquel il doit s'appliquer n'aient été soigneusement étudiées.

J. LEMARCHANDS,
Agrégé de l'Université.

L'ÉTUDE DES COUPS DE BÉLIER

DANS LES
CANALISATIONS MÉTALLIQUES SOUS PRESSION

RÉSULTATS OBTENUS PENDANT LA GUERRE
(SUITE)

Sur l'amplitude des harmoniques impairs dans les conduites forcées (1).

I. — VÉRIFICATION DE L'ÉTAT D'UNE CONDUITE — MÉTHODE DE LA DÉPRESSION BRUSQUE.

Dans les recherches d'hydraulique, il est nécessaire d'avoir affaire à une conduite bien définie, complètement purgée d'air ou contenant des poches d'air de volume connu, en des points déterminés.

Pour m'assurer qu'une conduite est complètement purgée d'air, et en même temps pour déterminer la vitesse *a* de propagation de l'onde dans la conduite, j'emploie la *méthode de la dépression brusque*, que j'ai décrite dans les *Comptes*

(1) Cette étude a paru dans la *Lumière électrique* en 1917.