

LA HOUILLE BLANCHE

REVUE GÉNÉRALE DES EMPLOIS COORDONNÉS

DE L'ÉNERGIE HYDRAULIQUE ET DE LA HOUILLE NOIRE

NOUVELLE SÉRIE. — DIX-NEUVIÈME ANNÉE

N° 166. — Septembre-Octobre 1920

SOMMAIRE N° 166

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

Quelques récents travaux d'irrigation (*suite*) 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 et D. EYDOUX, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Ingénieur principal à la Compagnie du Midi. — Avantages et Inconvénients des divers systèmes de transformation de courant alternatif à haute tension en courant continu (*suite*) F. SARRAT, Ingénieur à la Compagnie générale de Railways et d'Électricité de Bruxelles. — Étude sur les différents systèmes de réglage de la tension des réseaux à courants alternatifs (*suite*) (V. SYLVESTRE, Ingénieur A. M. et I. E. G.) — Méthode graphique pour le Calcul des Pylônes métalliques (R. VALENSI, Ingénieur E. S. E.). — Imprégnation, Sènilisation et Ignifugation des Bois d'Industrie (*suite*) Jean ESCARD, Ingénieur civil, Lauréat de l'Institut. — L'Utilisation des Combustibles (*suite*). — Revue des Sociétés savantes et des Publications scientifiques (Académie des Sciences). — Revue des Publications étrangères. — Informations. — Législation. — Bibliographie.

QUELQUES RÉCENTS TRAVAUX D'IRRIGATION

Réseau d'irrigation de Lindsay Strathmore (Californie).

Le district d'irrigation de Lindsay Strathmore, en Californie, offre un autre type d'installation ; il est approvisionné non par un canal de dérivation mais par des puits distribuant l'eau dans des conduites fermées. Le début de l'aménagement date d'octobre 1915, on envisagea l'irrigation de 6.230 hectares plantés surtout de fruits (citrons, oranges, mandarines, etc), quoique les olives et les céréales y soient encore assez nombreuses. La première mise de fonds s'éleva à 7.250.000 francs environ, soit 1.165 francs par hectare. Dans cette région le prix du terrain est élevé, le mètre carré se paie facilement 1 fr. 25 à 1 fr. 75 ; à l'époque du commencement du projet 3.200 hectares étaient cultivés, les agriculteurs se servaient d'eau tirée de puits pratiqués dans leur propriété même. Cet usage amena, au fur et à mesure, de l'extension des terrains de culture un enfoncement progressif de la nappe d'eau souterraine, environ 3 mètres par an, d'où une difficulté parallèlement croissante d'extraction et de pompage. En 1915, la profondeur moyenne des puits atteignait 75 mètres.

Le projet envisagé fut le suivant : acheter un terrain aquifère de 480 hectares dans le delta formé par deux rivières voisines, St-Johns et Kaweols, à une distance de 20 km. environ ; creusement de 37 puits dans ce terrain ; transport de l'eau par une première conduite de 5 km. suivi d'un canal de 10 km. creusé en terre. A l'extrémité de ce canal l'eau était élevée de 48 mètres et versée dans une conduite en ciment de 10 kilomètres. C'est de cette dernière que partaient des conduites secondaires lesquelles alimentaient finalement le réseau de conduites d'acier concernant la surface d'arrosage. Au Sud-Est du district une partie plus élevée de 480 hectares de surface nécessitait une seconde usine élévatrice transportant encore l'eau à une hauteur de 48 mètres.

L'adjudication fut passée en août 1916 ; l'entrepreneur principal eut des sous-adjudicataires, les travaux commencés en octobre 1916 furent achevés en juin 1918, la plus grande partie était finie avant la période d'irrigation du printemps 1918. Nous donnerons quelques détails relatifs aux différentes portions du réseau ; puits, usines de pompage, système collecteur, valves et purgeurs, canaux, etc.

Puits. — Le projet impliquait le forage de 37 puits devant fournir 54 litres par seconde pour une profondeur approximative de 30 mètres ; ces données étaient basées sur des résultats obtenus pour deux puits construits en 1915 ; ces puits d'expérience avaient 40 cm. de diamètre, la profondeur d'eau était 10 m. 50, le niveau de la nappe à 1 m. 80 du sol. Pour les puits nouveaux on adopta 75 cm. de diamètre ; la difficulté du forage fut énorme malgré une profondeur relativement faible car, à partir de 12 mètres, le sol était fait de sable grossier, de gravier de 7 à 8 cm., de blocs de 15 à 20 cm. Trois bonnes foreuses furent utilisées, elles étaient munies d'un soc puissant, malgré cela, à partir de 27 mètres il était ainsi que le moule tellement endommagé qu'en dessous de 30 mètres le travail devenait à peu près impossible. Mais, à cette profondeur, les couches aquifères traversées étaient en quantité suffisante pour donner le débit demandé. Ce forage amena de graves mécomptes ; après l'achèvement d'un certain nombre de puits, l'on s'aperçut, en effet, que sauf pour un petit nombre de cas les puits ne fournissaient pas l'apport espéré, leur creusement était mal fait. Cela tenait surtout au matériel excavateur employé ; les foreuses étaient faites pour 40 cm., on leur avait adapté un appareillage métallique pour les faire travailler à 45, mais l'ensemble n'avait pas une résistance suffisante pour empêcher les déformations du moule. Il fallut renforcer, au moyen de colliers, employer un soc plus long, aiguisé fréquemment au cours du forage. Les puits furent recoupés, on pratiqua une mise en marche longue durant parfois deux semaines et le résultat fut finalement atteint. Parfois, la foreuse, en touchant la surface de séparation de deux couches avait sa cornière courbée, il devenait très difficile de remonter le soc dans ces cas aussi, pour les

éviter, adopta-t-on une pointe effilée à l'extrémité de l'appareil.

Tous ces travaux demandèrent beaucoup de temps, il fut décidé d'employer immédiatement le débit fourni par les puits établis et de ne creuser les autres qu'après ; les sous-entrepreneurs perdaient, d'ailleurs, à ce travail, de l'argent chaque jour ; sur 35 puits forés 6 furent abandonnés, le forage étant déformé.

Les moyennes des résultats obtenus pour 29 puits sont les suivantes :

TABLEAU III

Profondeur de chaque puits au-dessous de la surface	30 m, 6
Surface totale de section par puits.	1 m ² , 185
Débit par puits.	441,82 par seconde.

Le débit était trop faible à cause d'un forage imparfait, de petites quantités d'argile, présentes dans certaines couches, avaient aussi rempli, en partie, les puits et déterminaient, jusqu'à leur départ par pompages répétés, des insuffisances marquées de débit.

Usines de pompage. — Les usines de pompage étaient adjointes à chaque puits. Chacune possède une fondation de béton supportant une pompe verticale pouvant débiter 4.530 litres par minute et les élever à 30 mètres. La longueur de la pompe en dessous de la surface est 7 m. 5, le tuyau d'aspiration à 6 mètres ; un moteur vertical de 40 HP, 2.200 volts actionne le piston, la vitesse obtenue est 1.170 tours par minute, l'efficacité 68 %.

Un ampèremètre contrôle l'intensité du courant envoyé, celui-ci est amené par des conduites extérieures avec commutateur externe pour l'interrompre dans le cas de réparations. Tous les fils d'installation sont isolés. Le tout est installé dans une maisonnette de bois de 10 m² de surface munie d'une tour. Chaque pompe possède une jauge à pression et une jauge à air permettant d'apprécier la profondeur de l'eau en dessous du sol, l'eau pompée est envoyée dans des conduites de bois jusqu'au système collecteur principal.

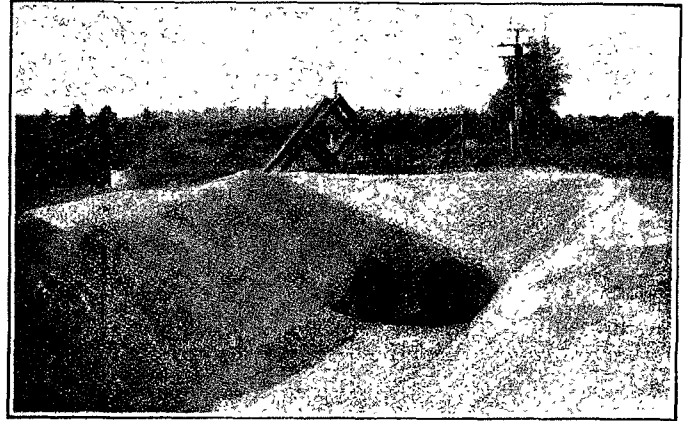
Système collecteur. — Le système collecteur est formé d'abord par les conduites où l'eau des pompes se déverse ; ce sont des conduites de bois de 0 m. 35 à 1 m. 10 se déchargeant, à leur tour, dans deux troncs principaux de 1 m. 20 placés parallèlement. Ces derniers aboutissent au canal, l'ensemble est à 17 m. 4 au-dessus du niveau de la surface des puits. Tous les canaux allant de 0 m. 35 à 0 m. 60 sont centrés à la machine ; au-dessus de 0 m. 60 ce sont des conduites faites avec des douelles.

Une couverture de 0 m. 60 est placée sur la conduite, sauf au passage sur ponts de rivières ou de canaux.

Placer ces conduites dans un pays où la nappe d'eau souterraine est à 1 m. 20, 1 m. 50 du sol n'était guère commode, surtout à une époque de l'année où des inondations inattendues peuvent tout recouvrir, c'est ce qui arriva par deux fois. Ce travail, difficile en lui-même fut, en outre, compliqué par le sabotage, à un certain moment même une garde armée dut protéger les travailleurs. Les résultats de ce travail mal fait furent évidents le jour de la mise en marche ; des fuites nombreuses se produisirent grâce à un sabotage évident et 17 kilomètres de conduites durent être remplacés. Actuellement, sauf quelques pertes insignifiantes aux jonctions par ajutages d'acier, le réseau fonctionne sans fuites.

Canal inférieur. — Le canal inférieur fut établi sur la place d'un vieux fossé entourant les collines du nord du district. On l'élargit de façon à obtenir 1 m. 80 de largeur de fond,

1 m. 05 de profondeur, 1 : 1 comme pentes latérales ; cet élargissement nécessita l'enlèvement de 73 m³ de terre pour 30 mètres de long. Cinq kilomètres furent excavés avec des attelages, les 5 kilomètres restants, au moyen d'une excavatrice à vapeur opérant à partir de traverses placées sur le fossé. Du fait de la faible profondeur désirée, de nom-

D'après *Engineering New Record*

Réseau d'irrigation de Lindsay Strathmore.

breuses poches de 30 à 45 cm. de creux furent faites au-dessous du niveau et nécessitèrent un travail de comblement et de tassement. Un revêtement de 2 cm. 5, fait du mélange : 1 partie ciment, 4,5 sable, et 10 % de chaux fut placé, armé avec des grillages 40 x 18 ; il était fait à la vitesse de 52 m. 5 par journée de 10 heures. Le prix de revient est donné par le tableau 4 se rapportant à mai 1917 :

TABLEAU IV

Mètres linéaires cimentés.	1.650	Salaires	Dollars
Mètres carrés cimentés.	9 024	Contremaître.	191,23
Sacs de ciment.	3 386	Ingénieur	88,33
Sacs de chaux.	150	Surveillants	88,33
Combustible :	litres	Aides	70,60
Huile pour les compresseurs.	3.450	Opérateurs	88,33
Huile lubrifiante.	140	Mélangeurs	351,65
Prix des matériaux		1 tonneau de ciment.	2 dollars 75
		Câble pour armer c/m ²	0 — 72

Après chaque journée de travail, une digue en bois était placée en travers du canal et l'eau admise dans la section achevée ; de cette façon, 48 heures après sa construction, le canal contenait déjà 90 cm. d'eau. Ce travail fut effectué dans la période la plus chaude de l'année, 43 à 46° centigrades, pendant le jour, les sections exposées au soleil étaient arrosées. Le canal se terminait, à son extrémité, par un réservoir de 300 m³ de capacité, situé à la station principale d'élévation. Pendant les temps de crue un siphon se déchargeant par une conduite de 7 kilomètres de long et 90 cm. de diamètre, emmenait l'excédent dans un réservoir très grand où l'infiltration par le sol se produisait.

Usine élévatoire. — Une usine élévatoire débitant 2.215 litres à la seconde transporte l'eau du canal inférieur dans la conduite supérieure située à 48 mètres au-dessus.

Conduite supérieure. — Cette conduite a 9 km. 700 de long, elle emmène la totalité de l'eau et la déverse par des ouvertures faites sur son parcours dans les conduites secondaires, elle est posée dans une tranchée faite à flanc de coteau dont l'excavation a nécessité l'enlèvement de 65 m³ de terre par 30 mètres. Cette tranchée fut établie six mois avant la pose de la conduite afin d'avoir un sol bien tassé. La

conduite elle-même a 1 m. 75 de largeur à la base, 1 m. 20 de profondeur, 1 mètre à peu près de pente par kilomètre ; elle est faite de ciment comprimé avec une pilonnette mécanique ; il y a également une armature de fer. Les parois ont 5 cm. L'ensemble est surmonté de poutres rectangulaires de 10 x 15 cm., placées de chaque côté, ces poutres sont reliées par des barres de 1 cm. 8. Le moule employé consiste en une plate-forme à languettes et sillons de 2 cm. 5, tenue soigneusement huilée. 210 mètres de moules avec de légères réparations suffirent pour faire tout l'ouvrage.

Les parois sont faites de deux couches : la première de 3 cm. 1/4 fut d'abord appliquée sur l'armature, la seconde de 1 cm. 3/4 placée quinze minutes après. L'armature fut maintenue par des barres d'écartement qui furent enlevées lorsque une quantité de béton suffisante eut été coulée pour assurer au treillis de renforcement sa position exacte dans la structure. On essaya même de faire le revêtement du cadre (10 x 15 cm.) par le même procédé, sans moules, mais cela n'était possible qu'en plaçant successivement plusieurs couches à des intervalles de temps suffisants pour permettre un tassement partiel ; or, la masse était si lourde qu'elle fléchissait d'abord, puis se brisait.

De petits moules furent placés immédiatement après leur achèvement sur les murs latéraux et le reste de ciment fut versé dans les cadres.

10 % de ciment furent additionnés à ce mélange avant de le placer. La plus grande partie de la conduite fut construite par un temps chaud, 35 à 49°, dès qu'une section de murs latéraux était achevée, des chiffons mouillés étaient placés sur les cadres suspendus au-dessus des côtés et les murs tenus soigneusement humides pendant 24 heures ; au bout de ce temps, la conduite fut remplie d'eau. Le mélange était fait de : 1 partie de ciment, 4 parties 1/2 de sable, l'on ajoutait 10 % de chaux en volume ; la vitesse moyenne de construction atteignait 52 mètres par jour. Les prix sont indiqués dans le tableau 5.

TABLEAU V

	Dollars
1 contremaître	5 »
1 surveillant	5 »
1 surveillant assistant	3 »
1 opérateur (machine de compression)	5 »
1 travailleur (sable)	2,75
4 mélangeurs à 2,75	11 »
10 travailleurs (finisseurs et charriant les moules) à 2,75	27,50
3 charpentiers à 4,00	12 »
4 manœuvres posant l'acier à 2,75	11 »
Total par jour	85 »

Pendant les deux premiers jours qui suivirent le remplissage de la conduite, quelques suintements apparurent, mais n'existaient plus après quelques jours. Le long de la conduite onze ouvertures furent pratiquées en différents points pour l'alimentation du réseau de distribution ; à son extrémité, la plus basse enfin, un petit réservoir fut établi d'où partent deux conduites, l'une d'acier de 75 cm destinée à l'irrigation de la plus vaste partie du district, l'autre, de 75 cm. aussi pour la section El Mirador. Sur chacune de ces lignes des ajutages de Venturi permettent de mesurer les débits : le réservoir possède finalement un siphon qui déverse l'excédent par une conduite de 720 mètres de long, 75 cm. de diamètre dans un coude de la rivière.

Système distributeur. — Le système distributeur est constitué par 160 kilomètres de conduites d'acier avec joints à

glissières; les joints ont 10 à 12 cm. 5, suivant la grosseur de la conduite.

L'acier n° 16 fut utilisé pour les conduites de 10 à 40 cm., le n° 14 pour 45 à 52 cm. 5, le n° 12 pour 70 à 75 cm., et le n° 10 pour 80 à 90 cm. La résistance statique atteint 25 mètres. Pour résister à l'attaque du sol fortement alcalin, les conduites furent recouvertes de feutre enduit d'asphalte. Une première couche était placée par plongée des conduites dans un bain, une deuxième addition était faite immédiatement avant leur installation, le revêtement est entouré en spirale sur la conduite.

Comme la durée du tube dépend beaucoup de cette couverture, on lui apporta beaucoup d'attention : on imprégna très fortement le feutre avec un mélange d'asphalte et de gommes qui amenait une pénétration de 80. Le produit final obtenu pesait 200 kilos environ au m² sur lesquels il y avait 50 kilos de feutre, 60 de solution saturée, 60 de couverture extérieure, 30 de couverture intérieure. 52 kilos de chiffons entraient par m² dans la constitution de ce revêtement, le côté externe était fait d'une plaque de mica empêchant ainsi la terre d'adhérer à la conduite et de l'endommager. Cette couverture fut donc soigneusement étudiée, elle dut avoir une pénétration d'au moins 15 cm. en 5 secondes si l'on employait une aiguille n° 2 et un poids de 5 gr. 9 ou encore avoir 77° correspondants à la méthode de l'« American Society for testing materials », le point de fusion devait s'élever au moins à 165 par la méthode « hook and cube ». Les conduites furent posées, leurs extrémités étant chauffées, les joints furent recouverts à chaud du revêtement ; toutes furent enterrées au moins à 60 cm. dans les tranchées, faites à cet effet, soigneusement entourées de terre pilonnée à la main.

Tous ces conduits sont reliés ensemble et 155 valves assurent le sectionnement. Une conduite principale de 75 cm. partant de l'extrémité de la conduite élevée, se décharge dans un réservoir d'équilibre. A 0 km. 8 de ce réservoir des conduites d'aspiration sont placées sur cette conduite et vont à la station fournissant le district d'El Mirador ; ce district a 1.000 hectares de superficie. Cette station possède trois pompes d'une capacité totale de 243 litres par seconde déchargeant dans un petit canal (canal élevé n° 2) de 8 km., lequel nourrit, à son tour, le réseau de conduites d'El Mirador. Le réservoir d'équilibre joue aussi un rôle régulateur, se remplissant à certaines époques, se vidant à d'autres. Pas de difficultés particulières dans la construction du canal supérieur n° 2, sauf celles provoquées par ce fait que le travail fut fait pendant l'hiver.

Des valves d'air du type « air and vacuum » furent établis aux points élevés et aux extrémités mortes, deux cents environ avant 1 cm. 25, sur les fortes conduites elles allaient de 2 cm. 5 à 5 cm. Dans les points les plus bas des purgeurs de 10 cm. furent installés.

FONCTIONNEMENT DU RÉSEAU.

En avril 1918, l'irrigation commença ; sur les 37 puits forés, 30 seulement étaient utilisables, les autres, par suite de la déformation du forage ne pouvaient fonctionner. Comme les premiers mois d'irrigation ne demandent pas une quantité d'eau très forte on estima que les trente puits suffiraient. Les mois de janvier, février, mars, furent employés à un pompage destiné à essayer les pompes et remplir les conduites de nature variée, rien ne fut distrait pour l'arrosage propre. Les résultats obtenus furent les suivants. (Tableau 6) :

TABLEAU VI

Mois 1918	Puits utilisés	Heures de pompage	Quantités en m ³	Profondeur moyenne de l'eau en mètres	Élévation moyenne par les pompes en mètres	Débit moyen par puits en litres par seconde
Janvier..	8	620.400	Pas d'irrigation	»	»
Février..	11	780.000		»	»
Mars ..	8	420.600		»	»
Avril ...	27	8 245	981.600	1,39	35,64	46,71
Mai ...	29	19 556	2.805.600	1,39	37,29	38,88
Juin.....	29	19.786	3.012.000	1,53	38,82	41,04
Juillet...	29	21.740	3.288.000	1,51	38,49	41,17
Août ...	30	20.814	2 904.000	1,53	39,96	37,80
Septembre	29	19.615	2.508.000	1,59	38,97	34,56
Octobre..	21	10.407	1.332.000	1,59	38,76	34,83
Novembre	11	3.798	472.800	1,64	37,80	30,30

1.830.000 mètres cubes furent ainsi extraits durant le premier trimestre ; les quantités pompées ensuite furent très insuffisantes et loin de ce que l'on escomptait, aussi, à la fin de la saison d'arrosage le district acheta une bonne perforatrice, un compresseur à air, etc., en somme, de nouveaux et meilleurs appareils de forage. Huit puits furent complètement reperforés et les autres améliorés. Ces travaux furent exécutés avec trois moules différents, l'un de 45 cm. pour le forage jusqu'à 15 mètres, le second de 40 cm. pour continuer aussi bas que possible, le dernier de 30 cm. qui acheva l'ouvrage jusqu'à 52 m. 50 de profondeur. L'utilisation de moules perforés est plus difficile que celle des moules à parois continues, le sable passe, en effet, dans les perforations, les gros blocs arrivant au contact du moule, sont entraînés d'un mouvement de rotation et peuvent finalement délériorer l'appareil.

Un compresseur d'air de 10 m³ à la minute fut utilisé pour nettoyer le puits ; l'air était soufflé par un tuyau de fer de 7 cm. 5, lequel fonctionnait ensuite comme aspirateur pour extraire le sable du fond ; l'amélioration apportée par cette méthode fut notable, le débit de quelques-uns des puits doubla. Le tableau 7 donne des renseignements sur les opérations des usines de pompage et l'efficacité obtenue.

TABLEAU VII

1918 Mois	M ³ pompés	Courant moyen par puits	Consom- mation Kwh	PRIX DE LA FORCE		Efficacité de l'usine pour 100
				Par kwh (en centimes)	Par 1000 m ³ élevé de 1 m	
Avril ...	1 410 000	9,82	247.200	5,645	2,775	55,8
Mai	2.805.600	9,54	573.600	3,275	1,845	51,9
Juin.....	3 012 000	9,16	616.800	3,220	1,696	51,9
Juillet..	3.288.000	9,18	650.400	3,140	1,613	55,4
Août ...	2.904.000	9,08	601.920	3,230	1,510	55,1
Septembre	2.508.000	8,74	335.680	3,520	2,147	51,8
Octobre..	1 332 000	8,56	289.100	4,055	2,304	50,9
Novembre	472 800	8,57	12 000	5,085	2,419	42,4

La difficulté spéciale, ici, était d'évaluer à l'avance le besoin d'eau, lequel varie avec le temps surtout ; or, pour que les modifications apportées par un changement du régime des pompes puissent se faire sentir dans les dernières ramifications il fallait huit heures. La mise en réserve

d'eau dans les conduites est à peu près impossible. Le système de distribution a, d'ailleurs, donné satisfaction en ce qui concerne les conduites de bois où quelques fuites à la jonction des embranchements d'acier se sont seulement fait jour. Il y eut des coups de bélier particulièrement forts au début lorsque les trente puits se déversaient à la fois, quelques-uns ont été calculés.

En arrêtant un puits sur trois, la pression passe de 11 k. 27, pression normale, à 6 k. 3 ; trois secondes après elle a atteint 12 k. 6, puis varie d'une façon oscillante entre 12 k. 26 et 10 kilos, mais avec amplitude décroissante ne revenant au régime normal que 85 secondes après la fermeture.

Avec 2 puits en fonctionnement, on ouvrit un troisième avec son plein effet ; la pression, en une demi-seconde s'élève de 11 k. 7 à 15 k. 30, au bout d'une minute et demie elle descend à 7 k. 20, puis croissant avec des oscillations maxima de 0 k. 450, atteint 23 kilos en 8 secondes ; enfin, retourne en variant peu au régime normal après 90 secondes. Comme ces expériences furent faites à 60 mètres des puits seulement et avec 3 puits, on peut s'imaginer les valeurs considérables des pressions dans ces coups de bélier lorsque tout travaille à plein ; cependant, il ne se produisit pas de fuites sérieuses sauf en quelques points où, immédiatement après un arrêt, quelques fuites s'établirent. Les conduites remplissaient donc bien les conditions nécessaires au travail qu'elles devaient accomplir.

Deux ajutages de Venturi de 120 cm., placés sur chaque conduite principale mesurent le flot total ; leur fonctionnement, satisfaisant au début, fut bientôt médiocre, les ouvertures des tubes s'obstruant par manque de la pression nécessaire pour les nettoyer. Les compteurs ne répondaient pas assez vite aux variations du débit, mettant jusqu'à 15 minutes après un arrêt pour revenir au zéro. Après l'élargissement des entrées, le fonctionnement fut meilleur mais il eût été préférable de placer les appareils en des points de pression élevée, et d'utiliser des instruments marchant sous pression.

Le canal inférieur, par son revêtement mal fait, d'épaisseur inégale (3 cm 75 à 5 cm), par le raccordement du fond aux côtés différent pratiquement d'un angle droit et présentant une légère courbe, eut une section inférieure à la section prévue, mais cela n'empêcha pas le maximum de débit demandé, 2 m³ 1/4 par seconde, d'être atteint. Les mesures donnèrent pour le coefficient n de la formule de Kutter la valeur 0,01699, elle était bien proche de celle adoptée 0,0175. Le finissage grossier du revêtement facilita beaucoup la fixation des algues, et ce fut une dépense très forte pour les enlever ; le revêtement, en lui-même, d'ailleurs, donna de bons résultats, une seule fissure s'établit sur le fond à un endroit par suite d'un pilonnage insuffisant du sol. Comme il n'y avait pas de réservoirs à l'extrémité du canal, on disposa des vannes tous les 800 mètres, afin de retenir l'eau dans le cas d'une interruption du courant et des puits, elles furent munies d'un appareillage électrique qui permet de les abaisser toutes à la fois à partir d'une seul centre de commande. Ce dispositif économise beaucoup de temps, de main-d'œuvre et de pertes d'eau.

La principale usine élévatoire ne donna lieu à aucune réparation importante, l'efficacité des pompes est donnée dans le tableau 8. Toutes étaient munies d'un moteur à induction, deux opérateurs, travaillant 12 heures, étaient employés ; pendant l'hiver, un surveillant seul, habitant une maison voisine, s'assurait de l'état du matériel et pouvait téléphoner en cas d'arrêt ou d'inondation.

TABEAU VIII

Nombre	Surface des pompes en cm ²	Capacité en m ³ par minute	Élévation en mètres	Tours par minute	Efficacité %
3	112,5	45,460	48	1.175	80
1	75	10,260	48	1.175	79
2	50	5,130	48	1 175	73

Les résultats des opérations, dans cette usine, sont indiqués dans le tableau 9.

TABEAU IX

1918 MOIS	Pompage en m ³	Consommation en Kwh	Prix de la force par kwh en centimes	Élévation en mètres	Prix de la force en centimes par 1000 m ³ par mètre	Efficacité %
Avril . . .	1.410.000	297.000	5,80	47,7	2,33	64,6
Mai	2.805.600	600.000	3,41	46,2	1,57	61,4
Juin	3.012.000	609.600	3,41	45,6	1,50	64,7
Juillet . . .	3.288.000	636.000	3,25	47,4	1,32	70
Août	2.904.000	528.000	3,42	47,4	1,31	74,4
Septembre	2.508.000	573.000	3,61	49,2	2,27	61,3
Octobre . .	1.332.000	273.000	4,05	47,7	1,75	66,4

Le système de distribution, fait de tuyaux d'acier léger rivés, fut rempli lentement ; un grand nombre de fuites se montrèrent, au bout de quelques semaines, à la jonction cimentée des conduites d'acier et des troncs principaux ; leur apparition ne fut constatée ainsi que tardivement, sans doute, parce qu'au début elles étaient très fines et que l'eau qui fuyait était immédiatement absorbée par le sol très sec. Il y eut, en moyenne, 3 fentes par kilomètre. Dans les blocs de ciment placés autour des coudes, il se produisit aussi quelques fissures, mais les joints surtout en furent le lieu. Les causes de production sont variées : inclinaison de la conduite dans la tranchée, joint fait à haute température puis se contractant après, etc.

Les réparations furent faites d'une manière uniforme ; la fuite fut recouverte d'une plaque mince de bois, entourée ensuite d'une bande de béton d'un diamètre supérieur de 5 cm. à celui de la conduite, et large de 20 cm. Les réparations furent effectuées, quand c'était possible, avec la pleine pression de l'eau dans la conduite ; sur les petites conduites inférieures, à 30 cm., elles furent faciles, mais pour les diamètres élevés il fallut parfois réparer, à trois reprises, sans succès. Les branchements les plus gros ont été réparés avec un collier de ciment armé de 15 cm. ; le prix des réparations s'éleva, ici, à 10 dollars pour chaque fuite. Des jauges de pression furent installées en différents points pour mesurer les coups de bélier, l'ouverture et la fermeture des vannes se fait très lentement.

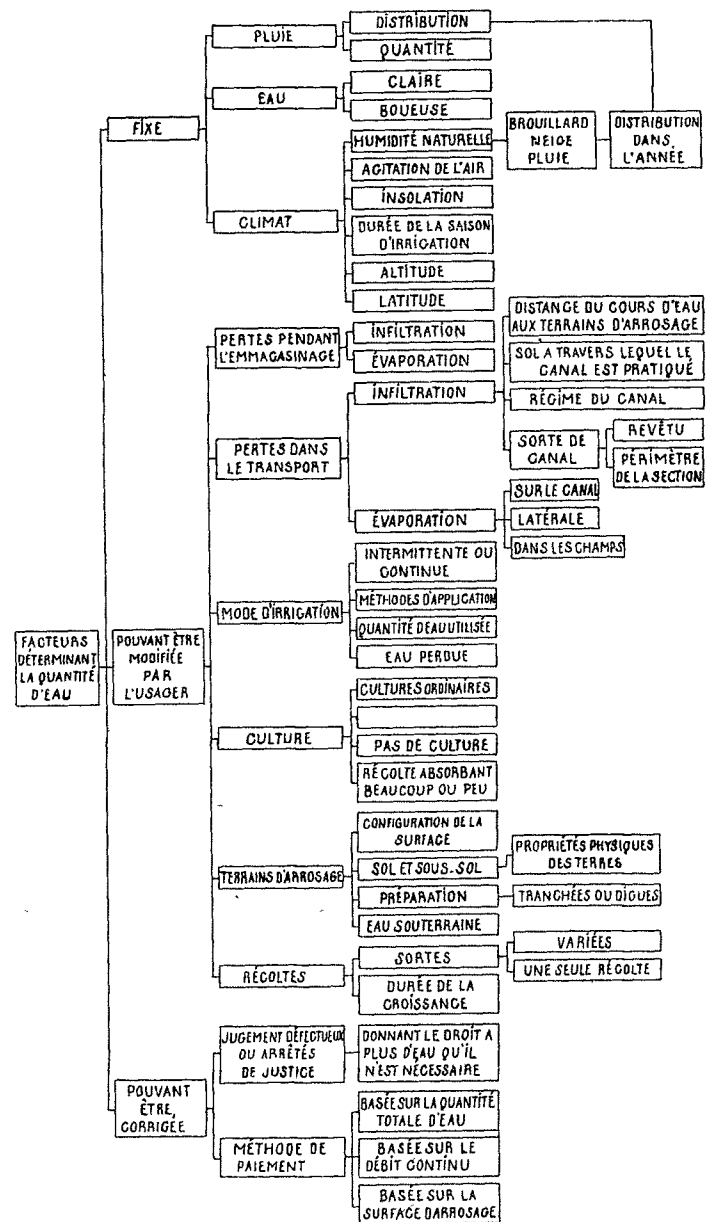
La distribution de l'eau d'arrosage est faite suivant le procédé suivant : une œillère de laiton boulonnée à la conduite surmonte une perforation de celle-ci, origine d'une conduite de fer forgé allant à la propriété. Cette dernière est terminée par une valve de 7 cm. 5., propriété du réseau, son ouverture et sa fermeture sont faites uniquement par les employés ; à côté d'elle une seconde valve, de même diamètre, est la propriété de l'usager qui l'utilise pour mettre

ou fermer l'eau. Enfin un compteur d'eau mesure la consommation faite, placé par le district il appartient à l'usager.

Deux types sont employés : à poids ou à pression.

Chaque usager reçoit une quantité d'eau correspondante à 5.250 m³ par hectare pendant une durée de 6 mois ; des essais préliminaires furent faits afin que chacun put déterminer le temps d'irrigation nécessaire et correspondant à l'étendue de sa propriété. Ces essais ne donnèrent pas de résultats au début pour diverses raisons : 1° quelques usagers avaient besoin de plus d'eau que d'autres à cause des irrigations insuffisantes des années précédentes ; 2° le sel était apparu dans certains terrains d'où une plus forte quantité d'eau pour laver le sol ; 3° la récolte abondante espérée d'une plantation de blé faite après l'irrigation demanda aussi des suppléments inusités d'eau.

Tableau des principaux facteurs déterminant la quantité d'eau d'arrosage.



Une fiche de chaque propriétaire est tenue de façon à connaître la quantité exacte d'eau employée par chacun ; l'irrigation intérieure des champs est faite par de petits canaux secondaires, à raison de 400 ares pour une conduite. Les arbres, dans ces terrains, sont espacés de 6 mètres. La saison d'irrigation, en 1918, dura du 18 avril au

30 novembre, 15.300.000 m³ environ furent utilisés. La surface totale du district est 6,230 hectares, dont 3.161 étaient, en culture en 1918, 2.908 en vergers : orangers, citronniers, vigne, etc., 253 en champs de céréales et légumes. Chaque hectare recut ainsi 2.450 litres d'eau environ. Le prix de l'eau, pendant cette saison fut de 77.662 dollars, soit 4 dollars 91 pour 1.000 m³ ; cette eau est, d'ailleurs utilisable pour les usages domestiques.

Tels sont quelques-uns des travaux d'irrigation entrepris récemment par les services des Etats-Unis ; nous ne pouvons que souhaiter de voir notre pays s'engager dans une voie qui, tracée d'avance avec beaucoup de précaution, peut décupler la valeur des terrains de la Provence et du Languedoc. Nous savons que le projet d'aménagement du Rhône com-

porte un vaste programme de travaux d'arrosage : usines élévatoires d'eau, canaux principaux d'irrigation, conduites, etc., seront certainement établis, puissent nos ingénieurs s'inspirer des travaux antérieurs et ne pas se perdre dans les errements, les erreurs que des gens aussi pratiques et aussi méthodiques que les Américains ont parfois commises par manque d'expérience et de données scientifiques. Nous donnons enfin, plus haut (p. 165), un tableau assez complet des *facteurs déterminant la quantité d'eau d'arrosage à employer*, établi par H.-F. Robinson, Ingénieur en chef des Services d'irrigation et que nous avons, d'ailleurs très légèrement, modifié.

J. LEMARCHANDS,
Agrégé de l'Université.

L'ÉTUDE DES COUPS DE BÉLIER

DANS LES

CANALISATIONS MÉTALLIQUES SOUS PRESSION

RÉSULTATS OBTENUS PENDANT LA GUERRE

(SUITE)

7. *Résonances.* — Pour faire l'analyse d'une conduite, nous employons la méthode consistant à disposer à l'extrémité aval un robinet entraîné par un moteur dont on fait varier lentement la vitesse. Le manomètre placé à côté de ce robinet met en évidence les diverses résonances. Nous avons pu mettre ainsi en évidence le fondamental et les divers harmoniques d'une conduite, dont les périodes sont $T = 2\theta$, $T/2$, $T/3$, $T/4$...

Envisageons des périodes égales à θ et supposons que la fermeture brusque du distributeur donne un coup de bélier $\frac{av_0}{g}$

inférieur à la hauteur de chute y_0 ; dans ces conditions, on ferme le distributeur au début de la première période et on le tient fermé pendant toute cette période, on ouvre ensuite brusquement le distributeur au début de la deuxième période, et on le tient ouvert pendant toute la durée de cette période ; on le ferme de nouveau au début de la troisième période et on le laisse fermé pendant toute cette période, etc.

M. de Sparre a démontré que, dans ces conditions, le coup de bélier devient, par suite des résonances, toujours au moins égal à la hauteur de chute.

Nous avons pu vérifier expérimentalement ce résultat et en même temps l'étendre en indiquant, non seulement la valeur maximum, mais encore la valeur minimum de la pression et envisager aussi les harmoniques impairs.

Supposons que le régime permanent de résonance soit établi. Cette hypothèse seule étant admise, l'un de nous a démontré que la pression à l'extrémité de la conduite au moment de la résonance varie de la pression atmosphérique H au double de la pression statique, plus la pression atmosphérique, en d'autres termes varie de H , distributeur ouvert, à $H + 2 y_0$,

distributeur fermé, H étant la pression atmosphérique l'hypothèse du régime permanent se traduit par

$$y^{2n+1} = \text{constante} = \alpha \quad y^{2n} = \text{constante} = \beta$$

y^{2n+1} étant la pression pendant la $(2n+1)^{\text{e}}$ période, y^{2n} étant la pression pendant la $(2n)^{\text{e}}$ période à l'extrémité de la conduite.

La fermeture du distributeur a lieu aux époques impaires

On trouve :

$$\begin{cases} y^{2n-1} = 2 y_0 \\ y^{2n} = 0 \end{cases} \quad (15)$$

La figure 5 représente le résultat de l'expérience qui a été faite à l'Institut Electrotechnique de Toulouse, sur une conduite en fer ayant la même épaisseur et le même diamètre que celle de l'usine à gaz déjà signalée, mais ayant comme longueur 186 m. 8 et comme pression statique 17 m. 3 d'eau.

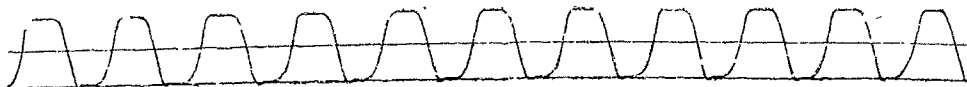


Fig. 5. — Réglage par minimum de débit. Résonance du fondamental

La ligne horizontale inférieure du cliché représente la pression atmosphérique; la ligne médiane représente la pression statique $y_0 = 17$ m. 3 ; on voit que cette pression est exactement doublée par la résonance.

L'expérience a été faite au moyen d'un robinet tournant ; l'ouverture de ce robinet était telle que sa fermeture brusque donnait un coup de bélier inférieur à la pression statique, c'est-à-dire inférieur à $y_0 = 17$ m. 3.

La vitesse du robinet était réglée par l'observation d'un tachymètre. Un tour complet du robinet correspondait à une durée de 1,14 seconde, il y avait deux ouvertures par tour ; la période des ouvertures et fermetures était donc 0,57 seconde, ce qui correspond à la vitesse a théorique de 1.310 mètres.

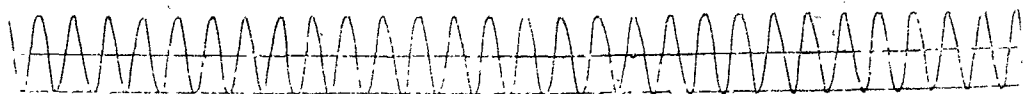


Fig. 6. — Résonance de l'harmonique 3.

En triplant la vitesse du robinet, on a fait apparaître la résonance correspondant à l'harmonique 3 (fig. 6) ; en quin-