

condres contenue dans le coke étant un calorifuge puissant.

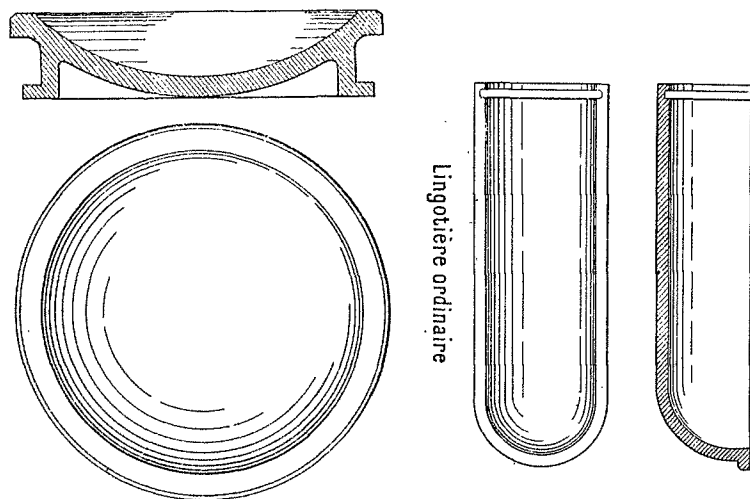
La sole est alors bien nettoyée, on répand sur celle-ci du coke sur une épaisseur de 15 centimètres environ et l'on descend les électrodes après avoir fermé le circuit électrique.

On débute par un très faible ampérage que l'on monte progressivement jusqu'au $\frac{2}{3}$ de la valeur que celui-ci doit atteindre lorsque le four est en charge.

Cette opération dure une vingtaine d'heures, on nettoie le four, la sole est bien balayée, les électrodes sont descendues.

L'arc jaillit, on jette petit à petit du mélange autour de l'électrode en admettant d'abord dans l'appareil une faible intensité.

Celle-ci est augmentée progressivement, on charge le mélange de manière à étouffer l'arc.



Lingotière circulaire

FIG. 9.

Les trous de coulée qui sont restés ouverts jusqu'alors doivent être obturés, on se sert à cet effet d'une pâte composée de charbon finement pulvérisé et de chaux. Cet aggloméré tout en étant conducteur sera facilement percé lors de la première coulée par une baguette de fer.

Il est bon d'attendre quelques heures avant de faire la première coulée pour que le four soit bien chaud.

LE GRAND BARRAGE D'ASSOUAN

Au mois de février 1913 parut chez Spon, à Londres, la 3^e édition de *Egyptian Irrigation*, par Sir W. WILLCOCKS et J.-J. CRAIG. La notoriété des auteurs est considérable, Sir William Willcocks est connu par les travaux qu'il a fait exécuter aux Indes, le grand barrage d'Assouan, et plus récemment par l'exposé d'un projet de régularisation du Tigre et de l'Euphrate, en vue de l'irrigation de la Mésopotamie. Un de nos compatriotes, M. Frédéric Chochod, ingénieur, avait été chargé par le Gouvernement ottoman, il y a quinze ou dix-sept ans, d'étudier le rétablissement des canaux de l'Euphrate. Son rapport n'a pas eu la fortune de celui de Sir W. Willcocks. Il n'est jamais parvenu à la connaissance du public.

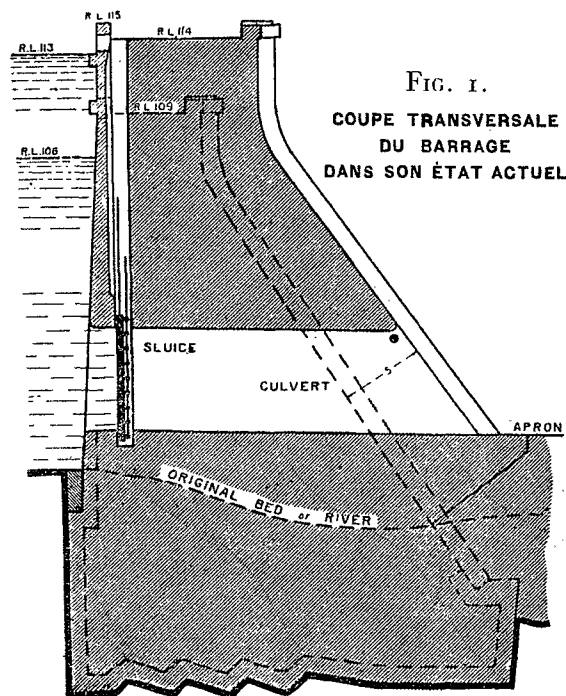
M. J.-I. Craig est un mathématicien et un météorologiste qui, pendant ces douze dernières années, s'est occupé de l'étude de l'hydrographie du bassin du Haut-Nil et de la partie de ce fleuve située au Sud de Wadi-Halfa. Il a dirigé le Service hydrographique de l'Egypte et se trouve actuelle-

ment à la tête du Service de la Statistique générale du Gouvernement égyptien. Le livre de ces hommes éminents a provoqué le plus vif intérêt chez les ingénieurs.

Sir Willcocks qui, de 1890 à 1894, étudia et dressa le projet du barrage d'Assouan, ayant critiqué dans son livre la surélévation du Barrage et dit que la surcharge due à la nouvelle maçonnerie avait provoqué des tassements du sol et des fissures du premier ouvrage, une vive discussion s'ouvrit dans l'*Engineer* et détermina un échange de lettres témoignant de l'intérêt que prenait le public à la discussion. Intérêt n'est pas suffisant, émotion est un mot plus juste pour qualifier le sentiment que provoqua la pensée de mal-façon résultant de calculs erronés. La preuve en est dans le fait que M. R. Holt, président de l'Association des Ingénieurs et Architectes Egyptiens, a cru devoir consacrer à la description des nouveaux travaux exécutés au Barrage, un mémoire auquel nous empruntons les notes qui suivent.

La provision d'eau en vue des besoins de l'irrigation est un objet de première importance pour l'Egypte. La crue annuelle du Nil provenant des pluies en Abyssinie et dans la région équatoriale, commence à se faire sentir à Assouan vers la fin de juin, elle augmente rapidement et atteint son maximum vers la fin de la première semaine de septembre. Elle diminue ensuite plus ou moins vite en octobre et novembre. Le niveau du fleuve continue à baisser et atteint l'étiage à Assouan au milieu de mai. La précipitation atmosphérique au Nord d'Assouan est négligeable.

La partie cultivée de l'Egypte comprend, outre le Delta, triangle dont la base est sur la rive de la Méditerranée et le sommet au Caire, une immense surface répartie des deux côtés du Nil et s'étendant jusqu'à Halfa au Nord de la seconde



cataracte, à 1550 kilomètres de la Méditerranée. L'oasis du Fayoum, au Sud-Ouest du Caire, est arrosée avec l'eau du Nil dérivée par le canal Yussef. Le développement de la culture du coton et de la canne à sucre a déterminé, dans ces dernières années, le besoin d'une quantité d'eau extrêmement élevée et disponible à volonté. On ne pouvait constituer cette réserve qu'au moyen d'un ouvrage très important. La réalisation de ce problème a toujours eu un vif attrait pour les ingénieurs. Si nos souvenirs sont exacts, dans son ouvrage sur le colmatage des Landes au moyen de terres

arrachées aux flancs des Pyrénées, M. Duponchel, l'éminent ingénieur des Ponts et Chaussées, mort il y a quelques années, avait déjà étudié les conditions d'établissement d'une grande retenue d'eau dans le Sud de l'Égypte et en avait fait l'objet d'un appendice à son mémoire.

Parmi les explorateurs du Nil et de ses sources figure au premier rang Sir Samuel Baker. Ses livres de voyage et ses

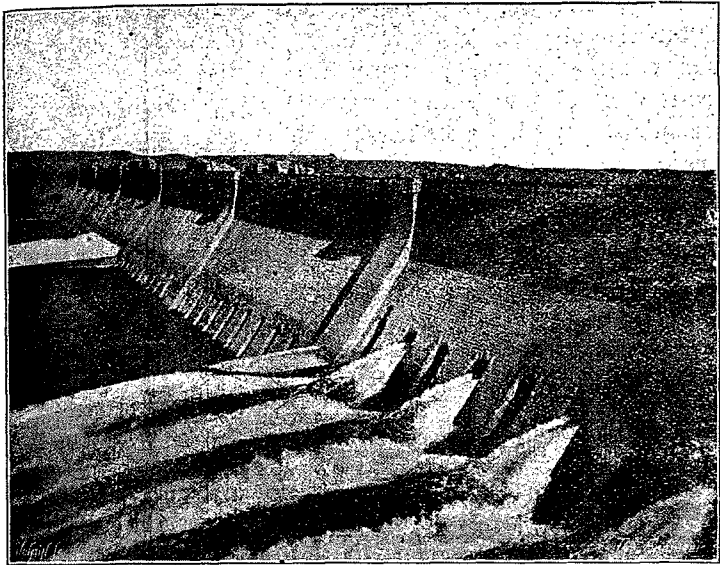


FIG. 2. — VUE AVANT DU GRAND BARRAGE D'ASSOUAN.
Baies percées dans la plus longue partie du mur.

observations sont extrêmement intéressants. Un volume intitulé : *Les Affluents du Nil en Abyssinie*, daté du 8 mai 1861, s'ouvre par la description des environs de Philæ. Vers la fin du livre, il suggère l'idée d'un barrage à la Première Cataracte, près d'Assouan, dans les termes suivants : « Avec un fleuve qui débite pendant une saison une quantité illimitée d'eau et de limon, on pourrait assurer la fertilisation d'une aire prodigieuse non seulement par l'effet de l'irrigation, mais encore par le dépôt de la terre tenue en suspension. Ce travail pourrait être fait successivement. La première étape serait la création d'un seul barrage vers la Première Cataracte, à Assouan, en un point où le fleuve coule entre deux collines de granit. On y pourrait élever un mur extrêmement élevé qui dominerait une surface immense. En relevant le niveau du Nil de 60 pieds à chaque barrage, les cataractes ne subsisteraient plus... » Il y a plus de cinquante ans que Baker formulait cette proposition et par la décision du Gouvernement égyptien, le barrage d'Assouan a été construit à l'endroit et à la hauteur désignés par Baker.

Par une coïncidence curieuse, l'ingénieur-conseil qui en a poursuivi la construction jusqu'à sa mort se nommait Sir Benjamin Baker. Ses travaux sont un exemple d'habileté et de science et quelques-uns peuvent compter parmi les merveilles du Monde. Une Commission internationale formée de Sir Benjamin Baker, M. Torricelli et M. Boulé, examina le projet de construction d'un barrage à la Première Cataracte en 1894. Les ingénieurs du Gouvernement soumi-
rent à la Commission un projet comportant une suite de barrages courbes formant une ligne brisée qu'elle rejeta. Elle adopta un projet de barrage rectiligne après avoir modifié les épaisseurs et le profil général qui lui étaient soumis. On peut dire que c'est le projet ainsi élaboré par la Commission qui a été exécuté. L'entreprise, confiée à Sir John Aird & Co, fut commencée en 1898 et le premier barrage fut achevé en 1902.

La ville d'Assouan, à 950 kilomètres du Caire, est située

sur la rive orientale du Nil, à 10 kilomètres en aval de la Première Cataracte. Le barrage a été construit à 6 kilomètres en amont de la ville. Par respect pour les archéologues désireux de conserver les ruines de Philæ, situées dans une île à 2 kilomètres en amont du barrage, on fixa le niveau maximum du plan d'eau à 106 m. au-dessus du niveau de la mer à Alexandrie et le sommet du parapet à 110 mètres. Le barrage primitif fut exécuté sur ces données et les fondations furent descendues dans le granit à la cote moyenne de 83 m., en certains points 70^m25. Le seuil de granit étant naturellement à 92^m5, on se fait une idée du soin avec lequel la roche a été creusée dans le but de fournir une solide et saine fondation.

Le barrage mesure de l'une à l'autre rive 2.000 mètres de longueur totale sur laquelle 450 m. du côté oriental sont en maçonnerie pleine. Le reste du barrage est percé de 180 baies, ayant chacune 2 m. de largeur : 40 de ces baies ont 3^m50 de hauteur, les autres ont 7 mètres. Quarante de ces baies ont été garnies de plaques de fonte massives ; ce revêtement fut employé alors qu'il était nécessaire d'activer l'ouvrage à chaque saison avant d'interrompre le travail par suite de la crue du Nil. Des treuils placés à demeure au-dessus du puits de chaque baie, sur le bord du chemin de service qui couronne le barrage, permettent de lever à la main les portes qui ferment chaque ouverture. Chacune des grandes vannes pèse 14 tonnes. Certaines d'entre elles sont du type usuel et glissent sur une feuillure, tandis que les autres, du modèle de Stoney, sont montées sur des roulements qui en rendent la manœuvre particulièrement facile.

Les vannes Stoney sont pressées contre la face amont du guidage au moyen de tiges de fer placées à demeure dans la feuillure et que l'on descend pour provoquer une fermeture étanche. On remarquera sur la fig. 1 que l'eau ne s'élève pas dans le puits des vannes Stoney, tandis que pour les vannes ordinaires, pressées par l'eau contre la face amont de la paroi, elle s'élève dans le puits jusqu'au niveau supérieur de la retenue. C'est l'eau ainsi introduite



FIG. 3. — VUE AVANT DU GRAND BARRAGE D'ASSOUAN
Blocs déplacés par la violence des affouillements.

qui, suintant entre deux parties de la maçonnerie de l'ouvrage actuel, a provoqué des suintements que des critiques insuffisamment renseignés ont attribués à des fissures capables de compromettre la sécurité de l'ouvrage.

À l'extrémité occidentale du barrage on a ménagé une série de quatre écluses de 80 m. de longueur et de 9^m50 de largeur. Le seuil de l'écluse amont est à la cote 90 m. En

raison des grandes profondeurs et pressions de l'eau, on a jugé qu'il n'était pas prudent d'employer la forme usuelle de portes d'écluses formée de deux feuilles.

On a étudié des portes d'une seule pièce, dont la plus grande a 19 m. de hauteur, qui sont suspendues à des charpentes enjambant toute la largeur de l'écluse. Chaque porte a la largeur de l'écluse et peut être tirée dans un grand logement ménagé à angle droit des murs ; une fois la porte tirée, le guidage supérieur est relevé, par rotation autour d'un axe horizontal pour livrer passage aux bateaux. Toute la manœuvre faite par des moyens hydrauliques est exécutée sous la surveillance d'un seul homme.

La maçonnerie du barrage est faite de granit rouge tiré de carrières voisines. Le volume et le poids des blocs sont les plus grands que l'on ait pu manœuvrer tant à l'aide des bras des ouvriers que des grues de 2 tonnes 1/2. On a employé du mortier de ciment Portland et de sable dans la proportion de deux parties de sable pour une de ciment pour toute la maçonnerie : celle des bajoyers des écluses et des orifices de décharge, celle du parement amont de tout le barrage et celle des 60 premiers centimètres de revêtement partant de la roche et formant fondation. La maçonnerie intérieure fut généralement liée avec un mortier formé de 4 parties de sable pour 1 partie de ciment. Des essais soigneux ont montré que le mortier de ciment représente environ 40 pour 100 de la masse totale de la maçonnerie. Le barrage original fut achevé à la fin de juillet 1902 et l'on commença à remplir le réservoir au mois d'octobre suivant. Le mémoire des entrepreneurs de la maçonnerie s'éleva à environ 50.400.000 francs. Le prix total de l'ouvrage comprenant les parties métalliques, les expropriations du sol et les autres frais, atteignit 81 579 078 francs.

Peu après la mise en service du barrage on constata de graves affouillements du lit du fleuve au droit des vannes, des crevasses et des trous apparurent et des blocs détachés atteignant près de 100 tonnes furent arrachés au lit du fleuve et déplacés. En 1903 on chercha à remédier à cette action dévastatrice par la construction d'un solide radier en maçonnerie. Ce travail donna un si heureux résultat que le Gouvernement décida de protéger de la même façon le lit du fleuve en aval de toutes les vannes. On enleva toute la partie meuble du lit en creusant jusqu'à 11 m. de profondeur et on remplit toutes les cavités d'une maçonnerie en ciment (4 pour 1). Au delà de 7 m. du barrage, la maçonnerie fut faite en ciment à 6 pour 1 ; enfin la surface du radier fut garnie de granit choisi, lié par un mortier à 2 pour 1, arrasée à 15 centimètres en contrebas du seuil des baies, et prolongée en pente douce pour atteindre le lit du fleuve jusqu'à une distance atteignant parfois 60 m.

Ce travail comportant 136 000 mètres cubes et 61 000 mètres carrés de parement a coûté 7 124 200 francs et fut terminé en 1906. Au cours des huit années qui viennent de s'écouler, on a constaté la solidité et l'utilité de ce travail.

Le bénéfice résultant pour l'Égypte de l'utilisation des eaux emmagasinées apparut tel après quelques années d'expérience que le Gouvernement égyptien résolut d'augmenter notablement la capacité du réservoir artificiel formé par le barrage. Il décida en conséquence de surélever le parapet du barrage primitif de 5 m. et de relever le plan d'eau de 7 mètres. La capacité du réservoir était ainsi plus que doublée, passant de 980 millions de mètres cubes à 2 420 millions. La limite du terrain inondé en amont du barrage s'étendait à 295 kilomètres, c'est-à-dire jusqu'au Temple d'Abu Simbel, au lieu de 235 kilomètres atteignant Ibraïm.

Le projet de l'ouvrage de surélévation fut étudié par Sir

Benjamin Baker. Le Ministre des Travaux publics d'Égypte décida d'augmenter de cinq mètres en épaisseur et en hauteur le barrage primitif.

Sur le conseil de Sir Benjamin Baker, on ménagea entre l'ancienne et la nouvelle maçonnerie un vide de 15 cm. que l'on devait ultérieurement remplir de béton. La nouvelle maçonnerie était supportée dans cette position par des rondins d'acier doux de 32 mm. de diamètre et de 2^m50 de longueur, enfoncés partie dans des trous forés dans la vieille maçonnerie et partie dans les blocs de la masse ajoutée.

On commença par préparer une nouvelle fondation en découvrant la roche solide en aval du premier barrage, en descendant par places au-dessous des fondations du premier ouvrage. On éleva ensuite la maçonnerie appelée « l'épaississement » jusqu'au niveau du chemin de service courant sur le premier barrage. On démolit alors les parapets et le sol du chemin de service pour procéder à la construction de la partie appelée « rehausse ».

On laissa s'écouler deux ans avant d'achever le travail et de remplir le vide laissé entre les deux maçonneries pour donner aux deux masses le temps de prendre une température uniforme. Au bout de ce temps on fit remplir le vide de béton et on suréleva le barrage. On modifia dans les mêmes proportions les murs des écluses et on en ajouta une cinquième. La porte supérieure pèse environ 125 tonnes.

Les travaux exécutés sous l'administration de M. Macdonald, l'ont été avec toute la perfection possible. Cependant la rumeur se répandit que des fissures s'étaient produites, que les fondations s'étaient affouillées, que le barrage perdait comme un tamis et qu'il serait hors d'usage en quelques mois. M. Holt se porta garant que les détracteurs devront vivre plusieurs milliers d'années et plus pour voir se réaliser leurs pronostics. Ils annonceraient de même l'affaissement des pyramides et indiqueraient les moyens à employer pour y remédier. Examinons les faits.

Le 4 juillet 1913 le plan d'eau était à la cote 104^m21, le 21 janvier 1914 il était à 113^m50, c'est-à-dire à 30 cm. au-dessus du seuil des déversoirs. Pour retenir cette nappe supplémentaire, les déversoirs furent fermés par de solides mardriers. On obtint ainsi une lame d'eau de 50 cm. en vue d'un supplément d'irrigation. C'est à l'époque où le réservoir était ainsi rempli au-dessus du niveau maximum que se manifestèrent les suintements dont il a été parlé, suintements qui ne font pas plus que mouiller légèrement la surface du mur de retenue et sont rendus aisément perceptibles par le dépôt, qui devient grisâtre, de la poussière apportée par le vent. M. Holt a constaté que le débit des suintements ne dépasse pas au total 659 litres par heure, c'est-à-dire le seizième de celui du barrage de Gilleppe en Belgique et l'on sait que les fissures aussi petites se colmatent à la longue. On ne peut donc avancer que le barrage ne tient pas l'eau. Ce barrage de 2 000 m. de longueur subit des variations de température allant d'environ 7° en hiver à 55° en été avec une variation diurne d'environ 20°. On conçoit que les effets de dilatation et de contraction de cette maçonnerie de 2 000 m. puissent provoquer des fissures ; il s'en est produit en effet, elles sont très nombreuses, mais n'ont que l'épaisseur d'un cheveu. Un examen attentif montre qu'elles sont presque toutes verticales et dans les 450 m. où la muraille n'offre pas d'ouvertures, elles se rencontrent à des intervalles remarquablement réguliers qui témoignent de l'homogénéité de l'ouvrage.

Ces fissures que l'on remarque sur le parement aval du « renforcement », ne correspondent point, sans doute, avec les fissures qui ont pu se produire dans le mur du barrage

primitif. Les deux parois sont séparées par le remplissage qui a rempli non seulement le vide laissé intentionnellement mais aussi les fissures produites au cours de la dessiccation de la maçonnerie extérieure.

Dans ces conditions, on conçoit que les assertions formulées contre la solidité de l'ouvrage soient contestables et que les auteurs et exécuteurs du travail de surélévation soient portés à trouver que, malgré son mérite et ses titres, Sir W. Willcocks est en l'occurrence un peu... orfèvre.

La maçonnerie du Barrage d'Assouan n'atteint que le tiers du volume de celle de la Grande Pyramide. Cela ne donne peut-être pas une idée très juste du volume du barrage, mais bien plutôt de celui de la Grande Pyramide.

Nous avons reproduit des gravures données par notre confrère *The Engineer*, dont les articles sur les ouvrages de génie civil sont toujours lus avec le plus vif intérêt.

F. CHARLES.

ROUES MOBILES POUR TURBINES FRANCIS

Détermination des dimensions principales des roues mobiles pour turbines Francis et construction des tableaux, graphiques, correspondant aux différentes séries.

Les progrès toujours croissant de la mécanique ont fait naître une grande concurrence dans l'industrie métallique.

Notamment les constructeurs de turbines hydrauliques ont été obligés de modifier leurs modèles de turbines pour arriver à réduire le prix de revient au minimum.

Pour obtenir ce résultat, il faut simplifier la construction le plus possible sans nuire au bon fonctionnement, à la bonne construction et au rendement.

Les constructeurs ont cherché à établir sur le même modèle une grande quantité de pièces pour diminuer leurs frais et la main-d'œuvre, afin d'arriver à des prix de revient excessivement réduits.

Les ingénieurs hydrauliciens classent leurs turbines par séries pour répondre à toutes les applications en apportant, le cas échéant, de légères modifications sans être obligé d'établir des modèles spéciaux.

Dans le texte ci-dessous on trouvera les indications nécessaires : 1° pour la construction et l'application des tableaux de séries, et 2° pour la détermination des dimensions principales d'une turbine Francis lorsqu'on connaît la hauteur de chute H en mètres, le débit Q en mètres cubes par seconde et le nombre de tours n par minute.

S = chiffre de système.

$$n' = \frac{n}{\sqrt{H}} \quad Q' = \frac{Q}{\sqrt{H}}$$

D = diamètre de la roue mobile.

Pour H = 1.0 mètre.

$$n' = n ; \quad Q' = Q$$

Le calcul des roues mobiles est basé sur la valeur S que l'ingénieur Holl a appliqué pour établir sa règle à calculs « Turbo ».

$$S = \frac{n \sqrt{Q}}{\sqrt[4]{H^3}} \quad (1)$$

Dans le cas où H = 1.0 mètre on a :

$$S = n' \sqrt{Q'} = n \sqrt{Q} \quad (1a)$$

Pour construire une turbine on part généralement du diamètre D de la roue mobile qui est à introduire dans le calcul.

D sera exprimé en fonction du débit Q.

$$D = \varphi \cdot \sqrt{Q'} \quad (2)$$

où φ est un coefficient qui dépend de S, chiffre du système.

$$\sqrt{Q'} = \frac{D}{\varphi} \quad (2a)$$

En remplaçant dans la formule (1a) la valeur $\sqrt{Q'}$ par celle de la formule (2a) on a :

$$S = \frac{n' \cdot D}{\varphi} \quad (3)$$

Dans une même série de roues mobiles la valeur D.n' est constant et on peut en général écrire :

$$S = \frac{C}{\varphi} \quad (3a)$$

On peut se servir de l'exemple ci-dessous pour déterminer la valeur de φ :

EXEMPLE : Soit :

$\alpha = 24^\circ$ l'angle de sortie du distributeur ;

$\beta = 90^\circ$ l'angle d'entrée dans la roue mobile ;

u' = vitesse circonférentielle de la roue mobile pour

H = 1.0 mètre ;

R = rendement hydraulique 83 pour 100 environ.

D'après le professeur Pfarr :

$$u' = \sqrt{g \cdot R \left(1 - \frac{tg \alpha}{tg \beta} \right)} = 2.85 \text{ m.}$$

mais

$$u' = \frac{D \cdot \pi \cdot n'}{60}$$

d'où :

$$D \cdot n' = C = \frac{69 \cdot u'}{\pi} = 54,5.$$

Si nous adoptons dans l'exemple ci-dessus S = 47,5, la valeur de φ sera :

$$\varphi = \frac{D \cdot n'}{S} = \frac{C}{S} = \frac{54,5}{47,5} = 1,15$$

En remplaçant dans la formule (2) φ par la valeur ainsi trouvée, on peut déterminer le diamètre de la roue mobile pour toutes les valeurs de Q pour S = 47,5.

La relation existant entre les valeurs Q, D et φ est mise en évidence par le graphique du tableau N° 1, obtenu en mettant la formule (2) sous la forme ci-après :

$$\frac{D}{Q'} = \frac{\varphi^2}{D} \quad (4)$$

La construction de ce graphique se fait en portant en abscisses et à droite les valeurs de φ^2 et en ordonnées les valeurs de D ; le Q' correspondant s'obtient en réunissant les deux points ainsi obtenus par une ligne droite et en élevant une perpendiculaire sur cette droite au point d', intersection avec la ligne des ordonnées, cette perpendiculaire rencontre la ligne des abscisses à gauche en un point dont la distance à l'ordonnée représente la valeur Q'.

Si on connaît deux de ces valeurs, il est facile de déterminer l'autre.

La construction du graphique N° 2 donné à titre d'exemple a été exécutée pour = 1,15.