série de seuils rocheux atténue les pentes. Cette vallée n'est qu'une « gigantesque oasis en plein Sahara ». L'hydraulicien est donc admirablement servi par des dispositions hydrologiques et topographiques exceptionnelles, aussi ne saurait-on poser comme des *types universels*, les barrages-réservoirs construits en Egypte. Ils stupéfient par leur masse, peuvent inquiéter, mais non convaincre.

En Algérie, le prestige des barrages-réservoirs a fait son temps.

Il en est de même en Espagne dont à tort ou à raison, les énormes édifications avaient fait la réputation en matière d'irrigations : Dès aujourd'hui, on y associe dans une large mesure, le boisement des hauts bassins torrentiels à l'aménagement des eaux des huertas. Peu à peu, on sera conduit pour revivifier les oueds de la Meseta, pour repeupler ses despo-blados, à reconstituer une partie des forêts et chataigneraies que les mérinos ont dévorées, ne laissant subsister sur ces plateaux « que la végétation d'un four à chaux ».

Il serait intéressant, si l'on ne craignait de trop prolonger cette étude, d'analyser la résultante économique de ces barrages, les déceptions auxquelles ils ont donné lieu, la tendance remarquable qu'ils dessinent vers « une monopolisation des eaux » (J. Brunhes).

En Egypte on en est arrivé, lors des faibles crues, à proscrire des irrigations, les cultures alimentaires, réservant l'eau pour les seules cultures industrielles: coton, canne à sucre, les plus exigeantes en eau. Le fellah passif et fataliste, qui n'a jamais su s'exploiter lui-même, pourra regretter les procédés pharaoniques qui permettaient à ses ancêtres de conduire à leur gré les rotations culturales, de vivre avec peu d'eau, d'éviter la faim comme il ne pourra peut-être plus le faire au milieu d'une surproduction culturelle dont l'industrie britannique est seule à bénéficier. D'autre part, les besoins culturels croissent, mais les endiguements ont nécessairement des bornes. Même en admettant le succès du captage des lacs Tsana, Victoria et autres, dont on commence à parler, la méthode sera tôt ou tard à bout de voie.

Dans l'Afrique française, la lutte contre l'extension de la zone désertique ne peut se faire qu'avec le boisement. Il ne s'agit pas de l'entreprise puérile d'une conquête du Sahara, mais d'une défense raisonnée contre son *influence*, contre les causes humaines qui, des toundras sibériennes aux solitudes alpestres, et aux arides du Far-West, entraînent avec la dénudation du sol, le cortège lamentable de la soif et de la faim.

L'homme ne crée pas l'eau, dit-on, il l'utilise seulement: très souvent il la perd par son fait et toujours alors il peut la reconquérir. La maçonnerie inerte qui torture la circulation naturelle des eaux n'est pas l'arme de la lutte, surtout en pays de montagne. Le boisement, d'un emploi essentiellement souple, à action indéfiniment croissante, est l'objectif avec lui, s'édifieront, se surélèveront, s'étendront spontanément des endiguements *vivants*, d'une sécurité absolue, appropriés à toutes les utilisations hydrauliques et donnant du bois en sus. La forêt est une sorte de Houille-Blanche idéale dont l'homme peut à son gré faire varier les gisements.

L'œuvre des barrages-réservoirs n'aura d'avenir que : « Le jour où les rivières auront perdu leur caractère torrentiel par le reboisement. Les massifs forestiers, dont la création s'impose dans les bassins supérieurs, formeront les réservoirs d'eau les plus certains, les plus complets, les moins dispendieux; la création de ces *réservoirs vivants* peut s'effectuer presque aussi rapidement que des barrages, œuvres mortes, qui réclameront de coûteux entretiens, et suspendront sur les vallées une véritable épée de Damoclès, tandis que les forêts produiront d'autant plus d'effet qu'elles vieilliront davantage » (Demontzey, 1896).

L'œuvre de Willcocks s'explique par le Nil et par le fellah: elle ne peut encore être jugée. Le légitime et très personnel mérite de « l'ingénieur » est d'avoir su la réaliser avec une entière adaptation aux intérêts actuels de son pays.

L'œuvre de Demontzey est consacrée des Pyrénées aux Alpes

et au Karst. Le prestige qui s'attache au nom du « forestier » croît à mesure que progresse l'idée du boisement dans la lutte pour et contre l'eau que l'homme engage partout où il cherche à adapter sa vie.

VŒUX. — Comme conclusion de cette étude, j'ai l'honneur de formuler le projet de résolution ci-après :

« Le VII^e Congrès International d'Agriculture;

« Considérant que le développement des *irrigations agricoles* est intimement lié à la régularisation du régime des eaux, par suite au développement général du *boisement* et des *améliorations pastorales*;

« Emet le vœu que :

« 1^o Sur les landes, steppes, arides et autres terres agricoles incomplètes, la culture fasse une *très large part* au boisement du sol;

« 2^o Sur les pelouses, vacants, des zones alpines; sur les plateaux surélevés, la culture tend à des réglementations sylvo-pastorales *permanentes* et *progressives*, qu'elle laisse toujours subsister et développe, si c'est possible, les lambeaux de végétation buissonnante spontanée;

« 3^o Dans tous les terrains sur lesquels, où à l'aval prochain desquels naissent ou se poursuivent des érosions, le *boisement* soit la *seule culture du sol*. »

L.-A. FABRE,

Inspecteur des Eaux et Forêts.

CONDUITES FORCÉES A DIAMÈTRES VARIABLES

Dans les installations hydrauliques, on a généralement l'habitude de donner un diamètre constant aux conduites forcées, et l'on se contente de faire varier l'épaisseur au fur et à mesure que s'accroît la pression. Comme cette épaisseur est fonction, non seulement de la hauteur, mais encore du diamètre, un ingénieur italien, M. REMO CATANI, a recherché s'il n'y aurait pas économie à faire décroître progressivement le diamètre, depuis la prise d'eau jusqu'au point le plus bas, et il nous a paru intéressant de donner ici la traduction d'une étude qu'il a faite sur ce sujet dans le *Politecnico*.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

Prépondérance du coût des conduites dans une installation hydraulique à haute pression. — L'étude économique de l'aménagement des usines hydrauliques conduit à rechercher les chutes les plus hautes possible, car ce sont celles qui réduisent au minimum les frais de premier établissement. Grâce à la création de réservoirs artificiels, ainsi qu'aux progrès réalisés ces dernières années dans la construction des conduites en tôle d'acier, on a pu utiliser des chutes de grande hauteur, atteignant parfois plusieurs centaines de mètres. En 1894, une roue Pelton, fonctionnant sous une chute de 630 mètres, paraissait presque un phénomène, mais depuis nous avons vu d'autres types de moteurs hydrauliques fonctionnant sous des charges énormes: dans l'installation de Tanay (Suisse), plusieurs roues Pelton sont actionnées par une chute de 950 mètres.

Dans de pareils cas, le coût de la conduite entre pour une part importante dans les dépenses générales de l'installation; aussi est-il intéressant de chercher à diminuer le poids

du métal employé, dans la mesure du possible, tout en ne dépassant pas une perte de charge déterminée.

Tout récemment ont surgi plusieurs industries dont le développement exige des puissances énormes et pour lesquelles le prix de revient de l'énergie doit être de beaucoup inférieur à celui des autres industries; or, il est évident que la perte de charge intervient pour sa part dans le prix de revient du cheval produit. Aussi quelques études ont-elles été faites dans ce sens; notamment dans le projet de la dérivation de l'Orba (Italie), le professeur Zunini a proposé d'installer une conduite dont les diamètres iraient en décroissant depuis le haut jusqu'en bas. Pour obtenir la loi de la variation, on a cherché le minimum de l'expression qui représente le prix d'un mètre linéaire de conduite, en tenant compte du poids des matériaux et du résultat financier probable de l'entreprise. Comme l'on peut rarement préciser quel sera ce résultat financier, on préfère se fixer, comme perte de charge, une fraction déterminée de la chute. Dans le cas ordinaire, où le diamètre est constant, on calcule généralement celui-ci par la formule de Darcy ou plus rarement par la formule plus moderne de Flamant (1). La loi des variations de l'épaisseur ayant été déterminée, il est facile de calculer le poids sans aucune étude préliminaire.

Pour une perte de charge déterminée, la méthode des diamètres variables conduit à un poids de tuyaux inférieur à celui qu'on obtient par la méthode ordinaire.

Formules donnant les épaisseurs et les poids des conduites métalliques. — Pour un diamètre donné, et pour une hauteur déterminée au-dessous du niveau supérieur, le poids d'un mètre linéaire de tuyau peut être représenté par une formule très simple qui correspond bien aux données pratiques des conduites déjà existantes.

En pratique, l'épaisseur se détermine d'après le diamètre et la pression au moyen de formules simples; et parmi toutes celles qui ont été proposées, nous en choisirons une à un seul terme, non seulement à cause de l'irrationalité des formules binômes avec terme constant qui donnent une épaisseur pour une pression nulle, mais encore parce que dans les premiers tronçons l'épaisseur dépend moins du calcul que des conditions particulières dans lesquelles se fait l'installation. Ainsi, par exemple, dans beaucoup de cas on ne peut disposer à volonté des appuis et alors il faut augmenter l'épaisseur pour donner au tuyau la rigidité nécessaire. Toutefois, lorsque la pression et l'épaisseur sont très grandes, la section du tube est presque toujours assez forte pour permettre, sauf des cas exceptionnels, d'employer de grandes portées.

Naturellement, la formule monôme ne doit s'appliquer qu'à partir du point auquel correspond l'épaisseur minimum que l'on croit devoir assigner aux premiers tronçons.

Pour un tuyau de diamètre d en mètres, soumis à une pression h en mètres, ayant une épaisseur e en millimètres, fait d'un métal dont la charge de rupture est de R kilo-

grammes, et en adoptant un coefficient de sécurité σ , on doit avoir la relation :

$$100 \times 100 d \times \frac{h}{10} = 2 \times e \times 1000 \times \sigma \times R$$

de cette relation on tire :

$$e^{m/m} = \frac{hd}{2\sigma R}$$

Le poids p d'un mètre linéaire de tuyau, exprimé en kilogrammes, s'obtient par la formule suivante dans laquelle ρ représente le poids d'un mètre cube du métal employé :

$$p = 0,00157 \frac{hd^2 \rho}{\sigma R}$$

Conduites en tôle d'acier. — Pour l'acier on prendra :

$$R = 42 \text{ kgs} \quad \sigma = \frac{1}{6} \quad \rho = 7800 \text{ kgs}$$

ce qui donnera : $e^{m/m} = 0,0714 hd$ (1)

et $p^{kg} = 1,72 hd^2$ (2)

Mais en pratique, le poids moyen d'un mètre de tuyau est supérieur à la valeur trouvée, à cause des rivets, du recouvrement de l'une des tôles sur l'autre pour la rivure, etc. Le pourcentage d'augmentation est assez variable dans les installations déjà existantes, mais toutefois dans des limites assez restreintes. Généralement, pour des conduites rivées, on compte sur 15 pour 100, ce qui conduit à admettre pour la valeur du poids :

$$p = 2hd^2 \quad (3)$$

Dans le cas d'une conduite uniformément inclinée d'un angle α sur l'horizontale, le poids d'un mètre linéaire de projection devient :

$$p = \frac{2hd^2}{\sin \alpha} \quad (4)$$

Dans le cas général d'une conduite à inclinaison variable, le poids total P est alors :

$$P = 2 \int_{H_1}^{H_2} \frac{hd^2}{\sin \alpha} dh \quad (5)$$

Expression dans laquelle d et α varient avec h .

On attribuera à H_1 la valeur jusqu'à laquelle l'épaisseur a dû être maintenue constante indépendamment de la formule (1).

Pour une conduite horizontale de longueur L soumise à une charge constante H , on a :

$$P = 2H \int_{L_1}^{L_2} d^2 \times dl \quad (6)$$

Si le diamètre est constant, le poids total d'une conduite soumise à une charge maximum de H mètres peut alors s'exprimer approximativement par :

$$P = H^2 d^2 \quad \text{pour un tuyau continu vertical} \quad (7)$$

$$P = \frac{H^2 d^2}{\sin \alpha} \quad \text{pour un tuyau incliné d'un angle } \alpha \quad (8)$$

$$P = 2HLd^2 \quad \text{pour un tuyau horizontal de longueur } L \quad (9)$$

Les deux premières formules donnent un poids un peu inférieur à la réalité, parce que l'épaisseur des premiers

(1) Formule de M. Flamant : $Y = K \frac{Q^{7/4} \times L}{D^{19/4}}$

Les récentes expériences du professeur Mason semblent donner pour K la valeur : $K = 0,000211$.

tronçons est plus grande que la loi ne l'indique ; mais pour des conduites un peu longues l'approximation est suffisante. D'autre part, la loi de la variation du poids en fonction de la hauteur de la charge reste exacte, parce que la variation de l'épaisseur est subordonnée aux épaisseurs industrielles des tôles, et que la différence qui peut en résulter augmente ou diminue l'épaisseur théorique, de sorte qu'en dernière analyse les formules précédentes conduisent à des résultats acceptables.

ETUDE DE LA RÉDUCTION DU POIDS DES CONDUITES MÉTALLIQUES

Loi proposée pour la variation du diamètre. — Les formules (3) et (7) ne diffèrent des formules (4) et (8) que par le terme $(\sin \alpha)^{-1}$ et toutes les considérations que l'on peut faire sur les conduites verticales restent les mêmes pour les conduites inclinées, à la condition toutefois d'introduire un terme de correction.

Pour un débit Q , une hauteur H , une longueur L , une perte de charge Y , un diamètre D (lorsqu'il demeure constant), la formule :

$$\frac{1}{4} D \frac{Y}{L} = K' V^2$$

donne pour valeur du diamètre, dans le cas d'un tube vertical où $L = H$:

$$D = \left(\frac{KHQ^2}{Y} \right)^{1/5} \quad (10)_1$$

On en déduit pour le poids P , d'après la formule (7)

$$P = H^2 D^2 \quad (10)_2$$

Divisons la hauteur H en un nombre n de tranches et admettons que les diverses pertes de charges y croissent comme les termes d'une progression arithmétique, de telle sorte que l'on ait :

$$y_1 = y_1 \quad y_2 = 2y_1 \quad \dots \quad y_r = ry_1 \quad \dots \quad y_n = ny_1$$

et $Y = \Sigma y = (1 + 2 + 3 + \dots + r + \dots + n) y_1$

$$\text{De ces expressions l'on tire : } y_1 = \frac{2Y}{n(n+1)} \quad (11)$$

$$\text{et } y_r = \frac{2Y}{n(n+1)} r \quad (12)$$

Le diamètre correspondant au terme général est :

$$d_r = \left(\frac{K \frac{H}{n} Q^2}{y_r} \right)^{1/5} = \left(\frac{KHQ^2}{Y} \times \frac{(n+1)}{2r} \right)^{1/5}$$

où, à cause de (10)₁ :

$$d_r = D \left(\frac{n+1}{2r} \right)^{1/5} \quad (13)$$

Comme l'on peut réduire l'épaisseur des tôles à mesure que la hauteur diminue, on prendra pour valeur de la charge, dans chaque tronçon, la valeur de la charge moyenne ; le poids du r^{me} tronçon sera par suite, d'après la formule (3) :

$$p_r = 2 h_r \times d_r^2 \times l_r \quad \text{avec : } l_r = \frac{H}{n}$$

$$\text{et : } h_r = \frac{1}{2} \left[r \frac{H}{n} + (r-1) \frac{H}{n} \right]$$

$$\text{d'où : } p_r = \frac{D^2 H^2}{n^2} (2r-1) \left(\frac{n+1}{2r} \right)^{2/5} \quad (14)$$

Le poids total P' de la conduite sera alors :

$$P' = \frac{D^2 H^2}{n^2} \left(\frac{n+1}{2} \right)^{2/5} S \left(\frac{2r-1}{r^{2/5}} \right)_{r=1}^{r=n}$$

et à cause de l'équation (10)₂ :

$$P' = \frac{P}{n^2} \left(\frac{n+1}{2} \right)^{2/5} S \left(\frac{2r-1}{r^{2/5}} \right)_{r=1}^{r=n} = P \eta \quad (15)$$

Coefficient d'économie des conduites à inclinaison uniforme. — Le coefficient de P est moindre que l'unité dès que l'on a $n = 2$, et plus ce coefficient sera petit, plus il sera avantageux de construire une conduite à diamètres décroissants. La variation de η , en fonction du nombre n de tronçons de la conduite, n'est pas très grande ; en effet, pour $n = 3$ on a $\eta = 0,95$, pour $n = 5$ on a $\eta = 0,937$.

On peut écrire :

$$S \left(\frac{2r-1}{r^{2/5}} \right)_{r=1}^{r=n} = 2 S \left(r^{3/5} \right)_{r=1}^{r=n} - S \left(r^{-2/5} \right)_{r=1}^{r=n} \quad (16)$$

La première somme peut se développer avec une grande approximation en appliquant la formule qui donne la somme des puissances semblables des premiers nombres entiers :

$$1^m + 2^m + \dots + n^m = \frac{n^{m+1}}{m+1} + \frac{n^m}{2} + \dots$$

en se contentant des deux premiers termes. Il vient alors :

$$S \left(r^{3/5} \right)_{r=1}^{r=n} = \frac{5}{8} n^{8/5} + \frac{n^{3/5}}{2} \quad (17)$$

L'autre somme peut se mettre sous la forme :

$$S \left(r^{-2/5} \right)_{r=1}^{r=n} = n^{3/5} \frac{S \left(r^{-2/5} \right)_{r=1}^{r=n}}{n^{3/5}}$$

Or, d'après la règle de Pascal, on a, pourvu que $(m+1)$ soit positif,

$$\lim. \frac{1^m + 2^m + \dots + n^m}{n^{m+1}} = \frac{1}{m+1}$$

en faisant : $m = -\frac{2}{5}$, il vient :

$$S \left(r^{-2/5} \right)_{r=1}^{r=n} = \frac{5}{3} n^{3/5} \quad (18)$$

En portant ces valeurs de (17) et (18) dans (16), il vient :

$$S \left(\frac{2r-1}{r^{2/5}} \right)_{r=1}^{r=n} = \left(\frac{10}{8} n - \frac{2}{3} \right) n^{3/5}$$

D'autre part, toutes les fois que n sera suffisamment grand on pourra écrire :

$$\left(\frac{n+1}{2} \right)^{2/5} = \left(\frac{n}{2} \right)^{2/5}$$

De sorte que l'équation (15) peut finalement s'écrire :

$$\eta = \frac{P'}{P} = 0,95 - \frac{1}{2n} \quad (19)$$

Si l'on emploie la formule (15) calculée exactement, on trouve pour $n = 32$, $\eta = 0,93$. Si, au contraire, l'on emploie la formule (19) pour $n = 32$ on trouve $\eta = 0,934$.

On voit que lorsque n est grand, la formule (19) est suffisamment exacte pour les besoins de la pratique. La valeur limite de η pour $n = \infty$ semble être $\eta = 0,95$. On peut en conclure que pour une conduite rectiligne unique le gain est de 5 pour 100 et qu'il varie très peu avec le nombre des tronçons.

Propriétés du type de conduites proposé. — 1° La formule (13) nous donne :

$$d_1 = D \left(\frac{n+1}{2} \right)^{1/5} = 0,87 D (n+1)^{1/5}$$

$$d_n = D \left(\frac{n+1}{2n} \right)^{1/5} = 0,87 D \left(1 + \frac{1}{n} \right)^{1/5}$$

On voit que si d_1 peut être plus grand que le diamètre constant D , d_n par contre est plus petit.

Par exemple, on a pour $n = 32$:

$$d_1 = 1,75 D \quad d_n = 0,875 D$$

Si, dans la même formule (13), on fait $d_r = D$

il vient :

$$r = \frac{n+1}{2}$$

et l'on voit que si n est impair, il existe un tronçon pour lequel le diamètre se trouve précisément le même que celui que l'on aurait si l'on avait employé une conduite à diamètre constant.

2° La vitesse de l'eau dans les tuyaux ira constamment en augmentant en raison inverse du carré des diamètres. Dans le premier tronçon cette vitesse sera moindre que dans le cas d'un diamètre constant, et ceci aura le double avantage de réduire la perte de charge à l'entrée de l'eau dans le tuyau (1), et de diminuer, pour une hauteur d'eau donnée dans la chambre de mise en marche, la création, le long de la conduite, de poches d'air nuisibles au bon fonctionnement des moteurs hydrauliques. Alors que le volume V contenu dans un tuyau vertical de diamètre constant D et de hauteur H est :

$$V = \frac{\pi D^2 H}{4}$$

le volume V' d'un tuyau à diamètre variable, de même hauteur et pour une même perte de charge est, d'après la formule (13) :

$$V' = \frac{\pi D^2 H}{4n} \left(\frac{n+1}{2} \right)^{2/5} S \left(r^{-2/5} \right)_{r=1}^{r=n}$$

$$V' = \frac{V}{n} \times \left(\frac{n+1}{2} \right)^{2/5} S \left(r^{-2/5} \right)_{r=1}^{r=n} \quad (20)$$

pour $n = 10$ on a $V' = 1,14 V$. Soit une augmentation de volume de 14 pour 100 environ.

Quoique ce volume soit plus grand, la force vive de la masse liquide contenue dans la conduite est moindre dans le cas du diamètre variable que dans celui du diamètre constant.

(1) On constate une première perte de charge lorsqu'il n'y a pas d'évasement au point où la conduite forcée prend naissance dans le réservoir. Cette perte, dans le cas d'une entrée brusque de l'eau, est donnée par l'expression : $h_0 = 0,50 \frac{v^2}{2g}$ dans laquelle v est la vitesse d'entrée de l'eau dans la conduite. — NAZZANI.

En effet si m_r indique la masse, v_r la vitesse, s_r la section, f_r la force vive de l'eau dans le r^{me} tronçon, on a :

$$f_r = \frac{m_r v_r^2}{2} = \frac{1}{2} \times \frac{1000}{g} \times s_r \times \frac{H}{n} \times \frac{Q^2}{s_r^2}$$

ou, à cause de (13) :

$$f_r = \frac{1}{2} \times \frac{1000}{g} \times \frac{H Q^2}{\frac{\pi D^2}{4}} \times \frac{r^{2/5}}{n \left(\frac{n+1}{2} \right)^{2/5}}$$

et pour la conduite entière la force vive F' est :

$$F' = \frac{1}{2} \times \frac{1000}{g} \times \frac{H Q^2}{\frac{\pi D^2}{4}} \times \frac{1}{n \left(\frac{n+1}{2} \right)^{2/5}} \times S \left(r^{2/5} \right)_{r=1}^{r=n}$$

Dans le cas d'un diamètre constant la force vive F est :

$$F = \frac{1}{2} \times \frac{1000}{g} \times \frac{H Q^2}{\frac{\pi D^2}{4}}$$

Le rapport de ces deux valeurs de la force vive est :

$$F' = \frac{F}{n \left(\frac{n+1}{2} \right)^{2/5}} \times S \left(r^{2/5} \right)_{r=1}^{r=n}$$

En développant cette somme comme on a développé celle de la formule (16) il vient :

$$F' = \frac{\frac{5}{7} n^{7/5} + \frac{1}{2} n^{2/5}}{n \left(\frac{n+1}{2} \right)^{2/5}} \times F$$

$$F' = \left(\frac{5}{7} + \frac{1}{2n} \right) \left(\frac{2}{1 + \frac{1}{n}} \right)^{2/5} \times F \quad (21)$$

Le coefficient de F est toujours plus petit que l'unité, et diminue lorsque n augmente, par exemple pour : $n = 3$ on a $F' = 0,97 F$; pour $n = 15$, $F' = 0,94 F$, et lorsque n augmente de plus en plus, il tend vers la limite : $5/7 \times 2^{2/5} = 0,937$.

La diminution de la force vive est un précieux avantage contre les coups de bélier; de plus, elle facilite la régulation du mouvement des récepteurs hydrauliques.

3° Lorsqu'une conduite sous pression vient à se rompre, le cas le plus défavorable est celui qui correspond à une rupture dans la section où la pression est maximum, et le danger est d'autant plus grand que le débit est plus considérable. Si l'on appelle Q le débit d'une canalisation à diamètre constant, et Q' celui d'une conduite à diamètre variable, le rapport μ de ces deux quantités est, pour une même charge d'eau, égal à :

$$\mu = \frac{Q'}{Q} = \frac{d_n^2}{D^2} = \left(\frac{n+1}{2n} \right)^{2/5} \quad (22)$$

Pour $n = 33$, $\mu = 0,75$.

Si la conduite forme siphon, cette propriété n'est pas négligeable, car une trop rapide évacuation peut amener la formation du vide dans les parties hautes de la conduite, vide qui tend à provoquer l'aplatissement de celle-ci.

Conduites avec une partie verticale et une autre horizontale. — Supposons qu'une conduite de longueur

totale l soit composée d'une partie verticale de longueur l_1 et de n_1 tronçons, et d'une partie horizontale de longueur l_2 et de n_2 tronçons.

Si le diamètre était constant, on aurait :

$$D = \left(\frac{K l Q^2}{Y} \right)^{1/5}$$

$$P = l_1^2 D^2 + 2 l_1 l_2 D^2$$

Avec un diamètre variable, on doit avoir pour la partie verticale, d'après la formule (14) :

$$P_1 = \frac{l_1^2 D^2}{n_1^2} \left(\frac{n+1}{2} \right)^{2/5} S \left(\frac{2r-1}{r^{2/5}} \right)_{r=1}^{r=n_1}$$

et pour la partie horizontale, d'après la formule (3) :

$$P_2 = 2 l_1 S \left(d_1^2 \right)_{i=n_1+1}^{i=n} \times \frac{l_2}{n_2}$$

$$P_2 = \frac{2 l_1 l_2 D^2}{n_2} \left(\frac{n+1}{2} \right)^{2/5} S \left(\frac{1}{r^{2/5}} \right)_{r=n_1+1}^{r=n}$$

En posant :

$$\left. \begin{aligned} \eta_1 &= \frac{1}{n_1^2} \left(\frac{n+1}{2} \right)^{2/5} S \left(\frac{2r-1}{r^{2/5}} \right)_{r=1}^{r=n_1} \\ \eta_2 &= \frac{1}{n_2} \left(\frac{n+1}{2} \right)^{2/5} S \left(\frac{1}{r^{2/5}} \right)_{r=n_1+1}^{r=n} \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

il vient simplement, pour le poids total :

$$P' = l_1 D^2 (\eta_1 l_1 + 2 \eta_2 l_2) \quad (24)$$

La perte de charge correspondant à la partie verticale est :

$$Y_1 = S \left(\gamma \right)_1^{n_1} = \frac{n_1 (n_1 + 1)}{2} \times \frac{2 Y}{n (n + 1)}$$

$$Y_1 = \frac{n_1}{n} \times \frac{n_1 + 1}{n + 1} \times Y$$

La perte de charge correspondant à la partie horizontale est :

$$Y_2 = S \left(\gamma \right)_{n_1+1}^n = \frac{(n_1 + 1 + n) (n - n_1)}{2} \times \frac{2 Y}{n (n + 1)}$$

$$Y_2 = \frac{n - n_1}{n} \times \frac{n_1 + n + 1}{n + 1} \times Y$$

Naturellement $Y_1 + Y_2 = Y$.

On trouvera les diverses valeurs de η_1 , en se reportant aux formules (16) et (19).

Quant à η_2 , on remarquera que sa valeur sera d'autant plus faible qu'il y aura un plus grand nombre n_2 de tronçons dans la partie horizontale et que le nombre n des tronçons de la conduite entière sera plus petit. Pour $n = 25$ et $n_2 = 5$, on a $\eta_2 = 0,796$.

Parfois, pour éviter de traverser une route ou un cours d'eau, ou bien encore pour diverses raisons économiques ou financières, on sera obligé d'avoir recours à une partie horizontale assez longue; dans de pareils cas l'application d'une conduite à diamètre variable peut procurer une sensible économie, comme on le verra plus loin.

Conduites dans lesquelles le diamètre varie d'une façon discontinue. — Dans l'étude raisonnée de l'établissement

d'une conduite d'eau on peut, dans quelques cas particuliers, être amené à modifier la disposition générale de la méthode précédente, tout en en gardant le principe. Comme exemple, nous allons indiquer le cas d'une conduite pour laquelle le diamètre, suivant la loi précédente, va en décroissant progressivement dans s tronçons, pour ensuite rester constant dans les autres; de telle sorte que l'on ait :

$$j_1 = j_1 \quad j_2 = 2 j_1 \quad \dots \quad j_s = s j_1$$

$$j_{s+1} = s j_1 \quad \dots \quad j_n = s j_1$$

La perte de charge totale étant toujours Y , on a :

$$Y = S \left(\gamma \right)_1^n = j_1 \left[\frac{s(s+1)}{2} + s(n-s) \right]$$

$$j_1 = \frac{2 Y}{s(2n+1-s)} \quad (25)$$

$$j_r = \frac{2 r Y}{s(2n+1-s)} \quad (26)$$

$$d_r = \left(\frac{K \frac{L}{n} Q^2}{j_r} \right)^{1/5} = D \left[\frac{s(2n+1-s)}{2 n r} \right]^{1/5} \quad (27)$$

l'indice r variant de 1 à s et n étant le nombre total de tronçons de la conduite de longueur L .

On pourrait encore étudier le cas d'une conduite dont le diamètre varierait d'abord dans une première partie, suivant une certaine loi, pour rester constant dans une seconde, et enfin varier à nouveau, suivant une autre loi, dans une dernière partie. Mais ces cas sont tout à fait spéciaux et on les étudiera en détail lorsque les conditions particulières d'un projet conduiront à les employer. Il nous suffit, pour le moment, d'étudier plus spécialement la précédente méthode qui est facilement adoptable dans beaucoup de cas.

Fig. 1.

Conduites à divers étages. — Nous allons considérer ici le cas d'une conduite à plusieurs étages de différentes longueurs et de diverses inclinaisons. Lorsqu'une partie d'une conduite se trouve dans un même plan vertical, on peut toujours pour son étude la rapporter à un axe vertical, pris comme axe des pressions statiques et situé dans son plan. Soit donc L et Y , la longueur et la perte de charge totales de la conduite que nous supposons, de plus, former siphon.

Le point le plus comprimé ou le plus déprimé, suivant la disposition du siphon, partage cette conduite en deux parties, L_1 et L_2 , divisées en N_1 et N_2 tronçons.

Soit $l_1, l_2, \dots, l_m$ les longueurs des diverses parties de la colonne L_1 correspondant aux divers étages de la partie supposée descendante de la conduite, et soit λ une longueur

telle qu'elle soit contenue un nombre exact de fois dans $l_1, l_2, \dots, l_m$, de telle sorte que l'on ait :

$$l_1 = n_1 \lambda \quad l_2 = n_2 \lambda \quad \dots \quad l_m = n_m \lambda$$

$$N_1 = n_1 + n_2 + \dots + n_m = \frac{L_1}{\lambda}$$

Le diamètre d'un tronçon quelconque r de la conduite L_1 sera, d'après la formule (13) :

$$d_r = \left(\frac{K L_1 Q^2}{Y_1} \times \frac{N_1 + 1}{2r} \right)^{1/5}$$

Pour la partie L_2 supposée montante, on a de même :

$$l'_1 = n'_1 \lambda' \quad l'_2 = n'_2 \lambda' \quad \dots \quad l'_m = n'_m \lambda'$$

$$N_2 = n'_1 + n'_2 + \dots + n'_m = \frac{L_2}{\lambda'}$$

Les pertes de charges seront respectivement, en commençant par le haut :

Pour la colonne descendante :

$$y_1 = y_1 \quad y_2 = 2y_1 \quad \dots \quad y_{N_1-1} = (N_1-1)y_1 \quad y_{N_1} = N_1 y_1$$

Pour la colonne montante :

$$y'_{N_2} = y' \quad y'_{N_2-1} = 2y' \quad \dots \quad y'_2 = (N_2-1)y' \quad y'_1 = N_2 y'$$

$$Y_1 = \sum (y_1) = \frac{(N_1+1)}{2} N_1 y_1$$

$$Y_2 = \frac{(N_2+1)}{2} N_2 y'$$

Or, au point de jonctions des colonnes descendante et montante, les diamètres des tronçons correspondants doivent être sensiblement égaux, ce qui conduit à avoir

$$y_{N_1} = y'_1$$

c'est-à-dire

$$N_1 y_1 = N_2 y'$$

ou bien

$$\frac{Y_1}{Y_2} = \frac{N_1+1}{N_2+1} = \frac{L_1+\lambda}{L_2+\lambda'} \times \frac{\lambda'}{\lambda}$$

Dès que les nombres N_1 et N_2 deviennent un peu grands, ce rapport peut être sensiblement remplacé par le rapport plus simple :

$$\frac{Y_1}{Y_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{L_1}{L_2} \times \frac{\lambda'}{\lambda}$$

Et en remarquant que $Y_1 + Y_2 = Y$, on a :

$$Y_1 = \frac{L_1 \lambda'}{L_1 \lambda' + L_2 \lambda} \quad Y_2 = \frac{L_2 \lambda}{L_1 \lambda' + L_2 \lambda}$$

Dans le cas particulier où $\lambda' = \lambda$, il reste plus simplement :

$$Y_1 = \frac{L_1}{L} \quad Y_2 = \frac{L_2}{L}$$

Lorsqu'on ne pourra pas avoir les longueurs λ et λ' telles qu'elles divisent exactement $l_1, l'_1, l_2, l'_2, \dots$, on partagera la longueur totale de la conduite en un certain nombre de tronçons dont la longueur sera jugée la plus convenable. Il pourra arriver alors que certain tronçon appartienne à la fois à deux étages d'inclinaison différente ; dans ce cas, les calculs seront plus laborieux.

Conduites se subdivisant à leur extrémité en plusieurs branchements horizontaux. — Il arrive souvent qu'une conduite se divise, à sa partie inférieure, en plusieurs bran-

chements horizontaux de débits différents, dans le genre des figures 1 et 2. Plus ces dérivation seront longues, leurs

Fig. 2.

diamètres grands, plus leurs poids seront élevés ; il y a donc intérêt à se rendre compte du supplément de poids, et par suite de prix introduit par ces dérivation. Pour simplifier les calculs, nous allons remplacer les longueurs réelles L_r des diverses dérivation dont le débit varie de l'une à l'autre, par des longueurs virtuelles L_v qui seraient celles de la conduite principale, telle que nous l'avons calculée précédemment avec un débit constant pour un même poids et une même perte de charge. Si donc L_r et L_v sont les longueurs effective et virtuelle d'une dérivation, q et d le débit et le diamètre de celle-ci, et Q et D le débit et le diamètre de

la conduite principale, on doit avoir :

$$\left. \begin{aligned} r &= \frac{K L_r Q^2}{D^5} = \frac{K L_v q^2}{d^5} \\ p &= L_r D^2 = L_v d^2 \end{aligned} \right\}$$

$$\text{ce qui conduit à : } L_r = L_v \left(\frac{q}{Q} \right)^{4/7} \quad (28)$$

Alors, pour les conduites représentées fig. 1 et 2 les longueurs virtuelles des tronçons λ et λ' seront :

$$\left. \begin{aligned} \lambda_1 \left(\frac{Q_1}{Q} \right)^{4/7} & \quad \lambda_2 \left(\frac{Q_1 - q_1}{Q} \right)^{4/7} \quad \dots \quad \lambda_n \left(\frac{q_n}{Q} \right)^{4/7} \\ \lambda'_1 \left(\frac{Q'_1}{Q} \right)^{4/7} & \quad \lambda'_2 \left(\frac{Q'_1 - q'_1}{Q} \right)^{4/7} \quad \dots \quad \lambda'_n \left(\frac{q'_n}{Q} \right)^{4/7} \end{aligned} \right\} \quad (29)$$

Les longueurs virtuelles des tronçons l et l' seront :

$$l_1 \left(\frac{q_1}{Q} \right)^{4/7} \quad l_n \left(\frac{q_n}{Q} \right)^{4/7} \quad l'_1 \left(\frac{q'_1}{Q} \right)^{4/7} \quad l'_n \left(\frac{q'_n}{Q} \right)^{4/7} \quad (30)$$

La somme de toutes ces longueurs virtuelles représentera la longueur (l_2) de la formule (24) si la conduite est restée verticale ou inclinée jusqu'à la première dérivation ; c'est-à-dire que le poids de la dérivation sera :

$$P = \frac{2\gamma_2 H D^2}{Q^{4/7}} \left\{ \begin{aligned} & \lambda_1 Q_1^{4/7} + \lambda_2 (Q_1 - q_1)^{4/7} + \dots + \lambda_n q_n^{4/7} \\ & + \lambda'_1 Q'_1^{4/7} + \lambda'_2 (Q'_1 - q'_1)^{4/7} + \dots + \lambda'_n q'_n^{4/7} \\ & + l_1 q_1^{4/7} + l_2 q_2^{4/7} + \dots + l_n q_n^{4/7} \\ & + l'_1 q'_1^{4/7} + l'_2 q'_2^{4/7} + \dots + l'_n q'_n^{4/7} \end{aligned} \right\} \quad (31)$$

Si la conduite principale a déjà une partie horizontale l'_2 , la longueur (l_2) de la formule (24) représente alors la somme des longueurs virtuelles de $\lambda, \lambda', l, l', \dots$, d'un des tronçons quelconques λ ou l , ajoutées à l'_2 .

La longueur virtuelle d'un tronçon ayant été déterminée d'après l'une des formules (29) ou (30), on en déduira la valeur du diamètre correspondant, d'après la formule (23).

EXEMPLE PRATIQUE

Pour donner un exemple pratique de la méthode, nous allons étudier une conduite forcée de 990 mètres de longueur permettant d'utiliser une différence de niveau de 455 mètres, avec un débit de 1 mètre cube, la perte de charge admise étant de 20 %. La figure 3 représente la projection de la conduite sur un plan vertical.

Les nombres qui mesurent les longueurs des divers étages admettant le nombre 30 comme diviseur commun, on peut diviser la conduite en 33 tronçons, dont 8 appartiennent au premier étage, 5 au second et 15 au troisième ; les 5 derniers appartenant à la partie horizontale.

La perte de charge totale

$$\text{est : } Y = 455 \times \frac{20}{100} = 9^m 10$$

Dans le cas d'un diamètre constant, celui-ci serait, en faisant $K = 0,0025$:

$$D = \left(\frac{0,0025 \times 990 \times 1}{9,10} \right)^{1/5} = 0^m 771$$

Conduites à diamètres variables.

Étages	Numéros des tronçons	Diamètres	Épaisseurs	Poids par mètre linéaire	Longueur des tronçons	Poids de chaque tronçon	Poids des divers étages		
							Calculé	Augmentation 15 %	Poids total
		mètres	m/m	kgs		kgs	kgs		
1	1	1,36	4	133	Longueur constante de 30 mètres par chaque tronçon.	3990	36270	5440	41710
	2	1,18	4	116		3480			
	3	1,09	5	134		4020			
	4	1,03	6	151		4530			
	5	0,99	6	146		4380			
	6	0,95	7	163		4890			
	7	0,92	8	170		5100			
	8	0,89	9	196		5880			
2	9	0,88	9	194		5820	31680	4752	36432
	10	0,86	10	211		6330			
	11	0,84	10	206		6180			
	12	0,83	11	224		6720			
	13	0,82	11	221		6630			
3	14	0,80	12	235		7050	141090	21163	162253
	15	0,79	12	232		6960			
	16	0,78	13	248		7440			
	17	0,77	14	270		8100			
	18	0,76	15	279		8370			
	19	0,76	16	298		8940			
	20	0,75	17	312		9360			
	21	0,74	17	308		9240			
	22	0,73	18	322		9660			
	23	0,73	19	340		10200			
	24	0,72	20	353		10590			
	25	0,72	21	370		11100			
	26	0,71	21	365		10950			
	27	0,70	22	377		11310			
	28	0,70	23	394		11820			
4	29	0,69	22	372		22320	55350	8302	63652
	30	0,69	22	»		»			
	31	0,68	22	368		»			
	32	0,68	22	»		33030			
	33	0,68	22	»		»			

$$\text{Perte du premier tronçon : } y_1 = \frac{2Y}{(n+1)} = 0^m 0162.$$

$$\text{Perte du dernier tronçon : } y_n = 0^m 5346.$$

Les deux tableaux que nous donnons ici permettent de comparer les résultats obtenus dans les deux cas.

Pour la conduite à diamètre variable, les épaisseurs et les diamètres des 33 tronçons ont été déterminés au moyen des formules (1) et (13) ; quant aux poids, par mètre linéaire, ils ont été obtenus en multipliant chaque épaisseur par la circonférence correspondante et par la densité du métal employé, de manière à avoir les poids réels ; ceci permet de comparer ces derniers avec ceux qu'on obtiendrait avec les formules (7), (8) et (9). On sait que les forges italiennes livrent des tôles dont l'épaisseur croît de millimètre en millimètre.

Pour le cas d'une conduite à diamètre constant, on a procédé de la même façon.

En comparant les deux tableaux, on voit que

Exemple pratique d'une conduite forcée à diamètres variables.

Fig. 3.

Conduites à diamètre constant $D = 0,77$.

Étages	Épaisseurs	Poids moyens du mètre linéaire	Longueur des tronçons	Poids de chaque tronçon	Poids des divers étages		
					Calculé	Augmentation 15 %	Poids total
	m/m	kgs	mètres	kgs	kgs		kgs
1	3	57	69	3933	23256	3488	26744
	4						
	5						
	6	113	171	19323			
	7						
2	8				26925	4039	30964
	9	189	75	14175			
	10	170	75	12750			
	11						
	12						
3	13				152775	22916	175691
	14						
	15						
	16						
	17						
	18	339,5	450	152775			
	19						
	20						
	21						
	22						
	23						
	24						
4	25	472	150	70800	70800	10620	81420
	26						
	27						
	28						
	29						

(1) Cette épaisseur de 3 m/m a été déterminée d'après la même formule qui a donné 4 m/m pour la conduite à diamètre variable. On peut prendre 3 m/m jusqu'à une charge de 54 m 50 d'eau.

(2) La variation du poids des tronçons décroissant progressivement est linéaire, et les diverses valeurs de ces poids forment les termes d'une progression arithmétique.

pour la conduite à diamètre variable, on réalise, pour les trois premiers étages, une économie de 7 000 kilogs sur les 23 400 de la conduite à diamètre constant, soit environ 3 %.

D'après la formule (19), on aurait dû avoir 6 %, mais on remarquera que cette formule suppose l'emploi des épaisseurs données par les calculs théoriques, alors que ces épaisseurs sont plus grandes pour les premiers tronçons.

Pour la partie horizontale, l'économie de poids est de 17 800 kilogs sur 81 400, soit 22 %. Or, si l'on calcule la valeur du coefficient η_2 de la formule (24), on trouve :

$$\eta_2 = \frac{1}{5} \times \left(\frac{34}{2}\right)^{2/5} \times S_{29}^{33} \frac{1}{(r)^{2/5}}$$

$$\eta_2 = 0,2 \times 3,101 \times 1,269 = 0,78$$

On voit que pour cette partie de la conduite, la théorie correspond bien à la pratique.

L'économie aurait été encore plus grande avec des épaisseurs de tôles variant par demi-millimètre ; en effet, pour la conduite à diamètre variable, l'épaisseur varie avec la pression et le diamètre, tandis que pour la conduite à diamètre constant elle ne varie qu'avec la pression ; il s'en suit que, dans le premier cas, l'épaisseur varie plus vite que dans le second.

Pour réaliser pratiquement la variation du diamètre, on pourra raccorder entre eux deux tronçons en donnant, à la fin du premier ou au commencement du second, la forme d'un tronc de cône. On pourra encore décomposer chaque tronçon en divers anneaux dont le diamètre irait continuellement en décroissant, comme dans une longue-vue, de telle sorte que le diamètre moyen soit égal au diamètre théorique.

On pourra encore, dans quelques cas, augmenter l'économie en construisant en ciment armé les tronçons du commencement, qui ont un grand diamètre.

Traduit de l'italien par

H. BELLET,
Ingénieur E. C. L.

LA COLORIMÉTRIE

NOTES DE CHIMIE PRATIQUE

Fréquemment, le chimiste industriel, l'ingénieur même, ont à faire des dosages chimiques de composés très divers. Cette nécessité s'impose à peu près à toutes les industries : matières colorantes, teinturerie, matériaux de construction, métallurgie, mines, explosifs, papeterie, doivent appeler à leur aide, peu ou prou, la dosimétrie chimique.

Les dosages ou les titrages industriels, sans demander le plus souvent une exactitude extrême, exigent cependant une précision suffisante pour servir d'appui, tant à des essais rationnels qu'à une marche régulière de fabrication.

Si la méthode de dosage par pesées reste sans conteste le type des méthodes exactes, son application demande des soins méticuleux, un matériel spécial important, souvent compliqué et coûteux, en même temps qu'un courant d'habitude qui ne peut être, que par exception, le fait de l'ingénieur accablé d'ordinaire par une multitude d'occupations diverses.

Devant ces difficultés, le dosage utile, et très souvent indis-

pensable, reste en route, au grand profit de la routine et de l'empirisme

Il serait désirable, pour le plus grand progrès de l'industrie, que des procédés plus simples que la méthode de dosages par pesées, mais cependant suffisamment précis, pussent être utilisés couramment par l'ingénieur dans l'analyse et l'essai des matériaux qu'il doit mettre en œuvre.

De tels procédés existent, mais épars dans les traités et dans les notes des travailleurs ; à notre connaissance, ils n'ont pas encore été codifiés (1). Aussi, nous sommes-nous proposé de signaler, dans cet article, un de ces procédés, trop peu connu peut-être, bien qu'il soit susceptible de recevoir un nombre incalculable d'applications dans la pratique courante de la chimie industrielle : nous voulons parler de la *méthode colorimétrique de dosage*.

MÉTHODE COLORIMÉTRIQUE

Nous aurons fait entrevoir les avantages de cette méthode, quand nous aurons signalé son extrême simplicité et montré qu'elle n'exige ni appareils compliqués, ni laboratoire coûteux, ni grandes connaissances techniques spéciales, ni grande dépense de temps, tout en étant susceptible d'une très honorable précision

Le moindre chimiste, avec un minimum de matériel pourra, avec un peu de jugement et de réflexion, en trouver de précieuses applications dans les cas les plus courants et les plus variés.

Toutefois, loin de nous l'idée de vouloir faire un traité *ex professo* ! Notre but, plus modeste, n'est que, cédant à la prière d'un ami qui a pu apprécier la valeur du procédé, de rassembler, pour en faire part à tous ceux qui peuvent se trouver en pareille occurrence, quelques notions générales sur une méthode de dosage, vraiment précieuse par sa simplicité et sa précision.

Principe de la Méthode Colorimétrique. — *Étant donnée une substance chimique de nature connue (2), colorée, dissoute en proportion inconnue dans un liquide incolore, on peut évaluer la teneur de cette dissolution en comparant son intensité de coloration à celle d'une solution type, titrée, de la même substance, dans le même dissolvant.*

Comme on le voit, la méthode est essentiellement comparative, ce qui est un gage de sa précision. Nous ferons voir, par la suite, qu'elle a d'autres avantages, entre autres une très grande sensibilité.

Conditions de l'emploi de la méthode colorimétrique.

Pour que la *méthode colorimétrique* soit applicable il faut et il suffit :

1° *Que la substance à doser soit naturellement colorée, de telle façon que la coloration de la dissolution puisse être d'intensité proportionnelle à sa teneur,*

2° *Que la substance à doser soit la seule cause de la coloration ;*

3° *Que ni le dissolvant, ni les autres matières qu'il peut contenir, ne puissent avoir d'action chimique ou chromatique sur cette substance.*

Il sera en outre indispensable, cela va sans dire, d'opérer toujours sur des liqueurs très limpides.

Or, des substances répondant à ces diverses conditions se

(1) Nous n'avons garde d'oublier, en parlant ainsi, les procédés de dosage volumétrique dont les services ne sont plus à compter, mais dont le champ d'application diffère quelque peu de celui de la méthode que nous nous proposons de vulgariser.

(2) Nous supposons, implicitement, que l'essai qualitatif et la séparation des matières ont précédé l'essai quantitatif colorimétrique. Cependant, dans beaucoup de cas, cette séparation peut être superflue, si les corps étrangers sont incapables d'influer sur la réaction chromatique. C'est à l'opérateur de savoir faire fléchir la règle générale avec opportunité, selon les circonstances où il se trouve, sans compromettre la valeur du résultat.