32e Année — No 203-204 Novembre-Décembre 1933

LA HOUILLE BLANCHE

ÉDITIONS B. ARTHAUD, Succr de J. REY, GRENOBLE

Pour la Rédaction : S'adresser à M. P. PAGNON, Secrétaire Général, 19, Boulevard Gambetta, 19, GRENOBLE

Abonnement pour une Année { France...... 40 francs — Etranger..... 50 francs

Le Numéro : 7 francs

Compte Chèques Postaux LYON 5-84

Pour les Abonnements et Annonces : S'adresser à M. B. ARTHAUD, Editeur, 23, Grande-Rue, 23, GRENOBLE

SOMMAIRE

HYDRAULIQUE

Technique et économie dans les conduites forcées à diamètre constant et à diamètres variables

(SUITE ET FIN)

par Dott. Ing. REMO CATANI

d) *Formules du diamètre.* — De l'ensemble des formules qui ont été établies dans ce qui précède, ainsi que des déductions que l'on a pu tirer des exemples numériques, nous avons vu quel est le procédé qu'il faut suivre pour la détermination d'un diamètre convenable entraînant par son choix une diminution des frais d'installation.

Pour certaines industries, ainsi que pour des cas économiques bien déterminés, le but : « pouvoir obtenir de l'énergie à un prix très bas » est du plus haut intérêt. Pour y arriver, beaucoup d'autres considérations peuvent intervenir, une des plus caractéristiques est celle qui tient compte de la valeur de la chute exploitée ; mais, nous ne nous occuperons que des dépenses inhérentes à la conduite forcée, qui d'ailleurs, comme il a été signalé plus haut, peut actuellement représenter une part importante des frais d'établissement de tout le centre producteur.

Le procédé le plus apte à fournir les résultats désirés peut se synthétiser comme suit : égaliser la puissance théorique maximum, correspondant aux valeurs bien connues de la chute et du débit, à la puissance utile maximum, ou bien à une puissance correspondant à un bon rendement.

Dans le premier cas, c'est la formule générale (19) qu'il faut appliquer, ou bien la (20) si l'on attribue à K la valeur usuelle $K = 0{,}0025$. Evidemment, on peut obtenir d'autres expressions toutes dérivant de la formule générale (19), si au coefficient K on donne d'autres valeurs plus intéressantes et plus appropriées au cas envisagé.

Dans le second cas, on peut choisir le débit égal aux 4/10e du débit maximum M de la conduite à l'étude. A ce cas, ainsi défini, le rendement correspondant est de 85 % et la puissance exprimée en unités déjà établies et choisies pour le diagramme des puissances utiles, sera égale à 3,35, ce qui fait :

$$3{,}35\, H\, M = 10\, Q\, H$$

d'où :

$$D^5 = 8{,}93 \frac{K\, L\, Q^2}{H} \quad \text{et} \quad D = 0{,}47 \sqrt[5]{\frac{L\, Q}{H}} \qquad (21)$$

Et pour l'exemple numérique envisagé plus haut, on obtient :

$$D = 0{,}545 \text{ m.}$$

C'est le diamètre de la conduite nouvelle pour laquelle la section de débitsera : $A = 0{,}23$ m²; V vitesse à fonctionnement normal (pour $Q = 1$ m³/sec.) $V = 4{,}35$ m./sec.

Ayant déterminé de cette façon le diamètre de la conduite à section constante, ainsi que la perte de charge Y qui y correspond, on pourra facilement calculer une autre conduite à section variable (diminution progressive vers le bas), en utilisant un des procédés signalés plus haut.

En employant mes formules insérées dans l'aide-mémoire de l'ingénieur « Manuale Colombo » et en subdivisant la conduite en cinq tronçons, nous aurons pour $D = 0{,}52$:

$$d_1 = 0{,}65 \quad d_2 = 0{,}57 \quad d_3 = 0{,}52 \quad d_4 = 0{,}49 \quad d_5 = 0{,}47$$

$$v_1 = 3{,}03 \quad v_2 = 3{,}92 \quad v_3 = 4{,}76 \quad v_4 = 5{,}26 \quad v_5 = 5{,}88$$

Ces vitesses, même les plus élevées (5,88) sont admissibles dans la pratique, car, d'après mes calculs, sur les essais faits par le professeur Scimemi sur la conduite de Càneva, ceux-ci ont donné : $K = 0{,}0029$ pour $V = 5{,}168$.

III. — Conduites forcées à diamètres constants dans chaque dénivellation et décroissants de l'amont à l'aval

La perte de charge totale Y peut être déterminée par une des méthodes suivantes, comme il a été exposé :

1° D'après le rendement η que l'on s'impose; ainsi, par exemple, si $\eta = 0{,}97$, $Y = 0{,}03\, H$.

2° Par le calcul direct de Y ou de y et cela en recherchant le capital minimum correspondant à l'ensemble : frais d'installation et pertes d'énergie.

3° Par un calcul indirect : Après avoir déterminé le diamètre constant D de la conduite au moyen des formules (12) et (19), on peut facilement déduire la valeur de Y et y.

La détermination de Y, en tenant compte des résultats d'exploitation, nous entraîne à formuler des hypothèses d'ordre financier en plus de celles d'ordre technique qui sont à la base de l'étude (coefficient de frottement, rendements, etc.).

Il est préférable de fixer ou tout au moins de calculer directement la valeur de Y ou bien d'employer l'expression (19) chaque fois que l'on veut réaliser une économie dans les frais d'installation.

Ayant déterminé Y, nous savons qu'il est très aisé de calculer les diamètres d'une conduite à section décroissante.

Même avec ce deuxième procédé, on peut suivre plusieurs méthodes. D'après ma première publication, du diamètre D de la conduite circulaire à section constante on pouvait passer facilement à la succession des diamètres d de la conduite à diamètres décroissants vers le bas. Et cela comme on s'en souvient en subdivisant le profil de la canalisation en un certain nombre de tronçons, sans aucune préoccupation des dénivellations, mais en faisant cette subdivision de façon à obtenir des tronçons dont les pertes de charge augmentent du haut en bas, comme la suite des nombres naturels. Le premier tronçon à épaisseur constante doit toujours être exclu, car il est indépendant de la pression.

Nous développerons dans ce qui suit un procédé analogue, mais dans lequel on tient compte des dénivellations.

A) *Pertes par unités de longueur en progression arithmétique.* — Le principe général de cette méthode est très simple, il faut obtenir des pertes de charge par unité de longueur qui augmentent en progression arithmétique du haut en bas dans les dénivellations successives, tout en conservant la perte de charge totale Y constante.

Supposons que l'on ait des dénivellations de longueur l_1, l_2,... l_n.

y, la perte de charge spécifique de la première dénivellation;

l_1, y_1, $2\, l_2\, y_1$... $n\, l_n\, y_1$ les pertes totales dans les n dénivellations successives;

d_1, d_2... d_n les diamètres correspondants.

La perte de charge totale de toute la conduite sera :

$$Y = y_1\,(l_1 + 2\, l_2 + \ldots\ldots + n\, l_n)$$

En posant :

$$\Sigma_1 = \Sigma\, n\, l_n$$

On obtiendra :

$$Y = y_1\, \Sigma_1 \qquad (22)$$

De cette dernière expression, on peut facilement calculer la perte de charge spécifique de la première dénivellation :

$$y_1 = Y\, \Sigma_1^{-1}$$

Les pertes de charge spécifiques des dénivellations successives seront respectivement : $2\, y_1$, $3\, y_1$, au moyen de ces valeurs ainsi déterminées, et en utilisant la formule (6), on peut calculer la série successive des diamètres.

$$\begin{cases} d_1 = K^{0,2}\, Q^{0,4}\, y^{-0,2} = K^{0,2}\, Q^{0,4}\, Y^{-0,2}\, \Sigma_1^{0,2} \\ d_2 = \dfrac{1}{\sqrt[5]{2}}\, d_1 = 2^{-0,2} = 0{,}87\, d_1 \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ d_n = \dfrac{1}{\sqrt[5]{n}}\, d_1 = n^{-0,2}\, d_1 \end{cases} \qquad (23)$$

La signification physique de la somme Σ_1 se déduit facilement de son expression même, ai si que de la formule (22) il s'agit en effet, d'une conduite idéale dont la longueur virtuelle Σ_1 est obtenue en ajoutant à la longueur de la première dénivellation le double de la longueur de la deuxième, le triple de la longueur de la troisième et ainsi de suite en conservant la perte de charge spécifique constante pour toute la conduite. Il faut donc bien remarquer que cette longueur virtuelle n'est pas obtenue en faisant la somme des longueurs de chaque dénivellation comme il a été fait pour obtenir L. Ce qui équivaut à dire que dans la conduite idéale, ce sont donc les dénivellations et non pas les pertes de charge spécifiques qui doivent être multipliées par la suite naturelle des nombres.

Les valeurs inverses des racines cinquième des nombres naturels sont déjà calculées jusqu'à $n = 35$ dans ma première publication et partiellement reproduites dans l'aide-mémoire de l'ingénieur Manuale del Colombo (page 95 de l'édition 1929).

Le procédé que nous venons d'indiquer ne nous oblige de calculer qu'un seul diamètre, celui de la première dénivellation; les autres diamètres s'obtiennent par une simple multiplication d'une suite déjà déterminée de nombres fixes par ce premier diamètre d_1 que l'on obtient par le calcul. Toutefoi on peut aussi les déduire d'après une formule générale qui s'exprime en fonction du diamètre D de la même conduite à section constante. D'après l'expression (6), on peut, en effet, déduire cette formule générale qui s'exprime :

$$d_r = \mathrm{D} \left[\frac{\Sigma\, n\, l_n}{\mathrm{L}} \right]^{0,2} r^{-0,2}$$

Le tronçon initial à épaisseur constante qui constitue le premier tronçon de la première dénivellation doit être considéré comme une dénivellation au point de vue du calcul des diamètres.

Le poids P_n d'une conduite de ce genre se calcule très facilement et très rapidement.

A chaque dénivellation, y compris le premier tronçon, on peut appliquer la formule (5).

En indiquant par $z_1, z_2, z_3 \ldots z_n$, les constantes de chaque dénivellation, on aboutit à la formule générale ci-dessous pour chaque conduite à diamètre variable et quelle que soit la loi dont on se sert :

$$\mathrm{P_n} = z_1\, d_1^2 + z_2\, d_2^2 + \ldots\ldots z_n\, d_n^2$$

Mais pour la suite des diamètres obtenus par l'expression (23) la formule ci-dessus prend la forme spéciale suivante :

$$\mathrm{P_n} = (z_1 + 2^{-0,4} z_2 + \ldots \ldots n^{-0,4} z_n)\, d_1^2$$

La suite des puissances : $-0,4 = \left(\frac{1}{\sqrt[5]{\;\;}}\right)$ des nombres naturels jusqu'à $n = 33$ est calculée et reportée dans ma première publication ; l'expression de $\mathrm{P_n}$ est encore simplifiée et se présente sous la forme :

$$\mathrm{P_n} = (z_1 + 0,76\, z_2 + 0,64\, z_3 + \ldots\ldots)\, d_1^2 \qquad (24)$$

Les valeurs des z peuvent se déduire du profil de la conduite d'après la méthode exposée plus haut et appliquée dans l'exemple numérique.

On peut rapporter ce poids Pn au poids P d'une conduite à diamètre constant D, comme il a été fait au paragraphe B de la Première Partie de cette étude.

En posant dans la formule (24) la somme se trouvant dans la parenthèse égale à Σ_2, c'est-à-dire :

$$\Sigma_2 = \Sigma\, n^{-0,4} z_n$$

et en se rapportant à la première équation de la formule (23), on obtient :

$$\mathrm{P_n} = \Sigma_2\, a_1^2 = \Sigma_2\, \mathrm{K}^{0,4}\, \mathrm{Q}^{0,8}\, \mathrm{Y}^{-0,4}\, \Sigma_1^{0,4} \qquad (24')$$

D'autre part, des équations (5) et (6) on déduit :

$$\mathrm{P} = \mathrm{Z}\, \mathrm{D}^2 = \mathrm{Z}\, \mathrm{K}^{0,4}\, \mathrm{Q}^{0,8}\, \mathrm{Y}^{-0,4}\, \mathrm{L}^{0,4} \qquad (24'')$$

En faisant le rapport des deux équations précédentes et en prenant comme précédemment, $P = 1$, on aura :

$$\mathrm{P_n} = \frac{\Sigma_2}{\mathrm{Z}} \left(\frac{\Sigma_1}{\mathrm{L}}\right)^{0,4} \qquad (25)$$

Le terme entre parenthèses est le rapport entre la longueur virtuelle de la conduite et sa longueur réelle. L'autre terme de l'expressio[illegible] n est aussi un rapport de deux sommes, car Z est la somme des z se rapportant à chaque dénivellation.

D'après la définition même des termes pris en considération, on aura toujours :

$$\Sigma_1 > \mathrm{L} \qquad \text{et} \qquad \Sigma_2 < \mathrm{Z}$$

de façon telle que la fraction entre parenthèses est apparente et celle en dehors des parenthèses est une fraction réelle.

B) *Application numérique.* — En considérant toujours $Q = 1$ m³/sec, $K = 0,0025$ et le profil de la canalisation représenté sur la figure 1, on aboutit aux :

Caractéristiques des dénivellations (en mètres) *:*

Longueurs	Pertes de charge	Diamètres
$l_1 = 100$	$100 \times y_1$	$d_1 = 0,97$
$l_2 = 140$	$140 \times 2 \times y_1$	$d_2 = 0,84$
$l_3 = 150$	$150 \times 3 \times y_1$	$d_3 = 0,78$
$l_4 = 450$	$450 \times 4 \times y_1$	$d_4 = 0,735$
$l^5 = 150$	$150 \times 5 \times y_1$	$d^5 = 0,70$
$\mathrm{L} = 990$	$\mathrm{Y} = 9,10 = y_1\, \Sigma_1 = 3380\, y_1$ $\Sigma_1 = 3380$	

Les deux premières colonnes représentent les prémices du calcul. La somme de la seconde colonne nous porte à la détermination de y_1, pertes de charge par mètre courant dans la première dénivellation.

$$y_1 = \frac{9,10}{3380} = 0,00296$$

En fonction de y_1 et en se servant de la formule (23), on a calculé les diamètres dont les valeurs se trouvent dans la troisième colonne du tableau ci-dessus.

Le calcul de P_n est très simple si l'on se sert de la formule (25), car, en effet, les valeurs de L, Z et les z sont connues, la valeur de Σ_1 a été calculée un peu plus haut et donne 3380 ; les coefficients numériques des z dans Σ_2 ont été déjà calculés par moi-même et sont rapportés dans le tableau suivant où se trouvent les résultats des autres calculs, d'ailleurs très simples, et qui nous donnent la valeur de Σ_2.

n	$n^{-0,4}$	z	$n\text{-}z^{-0,4}$
1	1,0000	14.000	14.000
2	0,7569	29.400	22.340
3	0,6400	48.750	31.200
4	0,5746	288.000	165.600
5	0,5256	136.000	71.400
			$\Sigma_2 = 304.540$

En appliquant la formule générale (25), il y a certaines considérations à faire dont l'intérêt n'est nullement négligeable. qui permettent au contraire de préciser davantage la signification de certains symboles qui y ont été introduits.

Le rapport entre les longueurs de la conduite idéale et de celle réelle est égal à 3,41, c'est-à-dire que la longueur virtuelle de la conduite actuellement considérée est le 341 % de la longueur réelle de la conduite considérée précédemment.

Le rapport entre Σ_2 et Z est 0,589, ce qui conduit à :

$$\mathrm{P_n} = 0,589\, (3,41)^{0,4} = 0,962$$

Il faut aussi signaler que P_n et P peuvent être calculés à priori étant donné que l'on connaît le profil de la conduite, sa perte de charge Y et son débit Q et pour $K = 0,0025$, en se servant des équations (24') et (24''), on aura :

$$P_n = 0,09\ Q^{0,8}\ Y^{-0,4}\ \Sigma_1^{-0,4}$$

$$P = 0,09\ Q^{0,8}\ Y^{-0,4}\ L^{0,4}\ Z_1$$

Ces formules sont très utiles pour des calculs rapides.

Pour l'exemple numérique qui nous occupe, nous aurons :

$$P_n = 293,7 \text{ tonnes} ; \quad P = 303,8 \text{ tonnes} ; \quad \frac{P_n}{P} = 0,966$$

Si on avait subdivisé la conduite en cinq tronçons d'égale longueur, comme je l'indique dans ma première méthode de calcul, la réduction de poids aurait été de 8 % (paragraphe B de la première partie), en excluant la correction qu'exige le premier tronçon à épaisseur constante, correction dont la formule (25) tient compte.

Les cinq tronçons auraient eu une longueur commune de 198 mètres chacun et, par conséquent, leurs pertes de charge aussi bien totales, que spécifiques seraient allées en croissant dans le rapport de la suite naturelle des nombres.

La différence entre les deux conduites se résumerait dans ce qui suit : Dans le premier cas, les cinq dénivellations auraient eu des longueurs différentes chacune à diamètre constant (mais les diamètres des différentes dénivellations décroissent du tronçon initial à épaisseur constante, jusqu'à la dénivellation finale).

Dans le deuxième cas, les cinq tronçons de la conduite auraient eu la même longueur, mais des diamètres différents. Exception faite du premier tronçon dans le premier cas, les changements de diamètres s'effectueraient seulement aux extrémités des différents tronçons, tandis que pour le deuxième cas, ces changements se vérifieraient le long de la dénivellation et exceptionnellement à ses extrémités.

On peut en conclure que les conduites à diamètre constant dans chaque dénivellation, mais décroissants du haut en bas présentent une réduction du poids du même ordre que celle qu'auraient les conduites calculées par une première méthode de calcul, mais elles offrent l'avantage de présenter des changements de diamètres uniquement sur les raccords aux extrémités des tronçons qui, en général, exigent des dispositifs spéciaux.

La réduction du poids augmente avec le nombre de dénivellations ou de tronçons. A cet effet, on peut subdiviser des dénivellations trop longues, comme ce serait le cas de la troisième dénivellation du profil de la figure 1, dont la longueur est de 450 m.

IV.— Résumés des poids et des prix

Les conduites envisagées dans les exemples numériques de ma première étude, aussi bien que dans la présente, se rapportant toujours au même profil altimétrique et pour un même débit, sont assez nombreuses pour exiger un résumé qui illustrera mieux nos conclusions.

Dans le tableau I sont rapportés aussi bien les diamètres aux extrémités de chaque dénivellation de la conduite à 33 tronçons, signalée dans ma première étude, que les 5 diamètres constants de la conduite calculée plus haut.

A) *Résumé des poids.* — Dans le tableau II sont réunis les poids de toutes les conduites calculées dans les exemples précédents se rapportant au profil de la figure 1, à diamètres constants ou variables et qui ont été déterminés pour des valeurs différentes de R et de Y.

TABLEAU I

Comparaison entre les deux types différents de conduites à diamètres variables :

Dénivellation	Diamètres variables en mètres	
	de dénivellation à dénivellation	dans chaque dénivellation
1	1er tronçon 0,97 2e — 0,84	de 1,36 à 0,89
2	0,78	de 0,88 à 0,82
3	0,735	de 0,80 à 0,70
4	0,70	de 0,69 à 0,68

Le diamètre de la quatrième dénivellation horizontale, donc à pression constante, diffère de très peu dans les deux branches de la conduite. Dans le premier tronçon à épaisseur constante, les diamètres sont très différents et les moyennes sont 905 mm. et 1.125 mm. ; dans la troisième dénivellation, le diamètre constant est très proche de la moyenne des diamètres extrêmes de l'autre conduite ; dans la deuxième dénivellation, la conduite à 33 tronçons a tous les diamètres plus grands que ceux de la conduite à 5 tronçons.

On constate aussi qu'avec la conduite à 5 tronçons, les diamètres contigus varient de haut en bas de 130, 60, 45 et 35 mm., tandis que dans l'autre, les diamètres variaient peu dans les premiers tronçons et à peine d'un millimètre dans les tronçons de la quatrième dénivellation.

TABLEAU II

Comparaison entre les diamètres, les pertes, les prix kilowatt an et les poids des différentes conduites.

a) *Diamètre constant.*

D (m.)	Y (m.)	R (lires)	P (ton.)	Observations
0,52	65	23,7	139,4	Coût minimum de première installation et capitalisation maximum de la perte.
0,77	9,10	371	303 306,4 314,9	$0,09\ Q^{0,8}\ Y^{-0,4}\ L^{0,4}\ Z$ $P = Z\ D^2$ Ancien calcul direct des tôles
0,91	3,94	1200	426,6	Maximum de dépense de première installation et capitalisation minima de la perte.

b) *Diamètres* d *variables ;* Y = *constante* = 9,10 *m.*

d = 1,36 à 0,68	9,10	371	304 306,5 315	Ancien calcul direct sur les tôles
d = 1,03 à 0,72	9,10	371	304,1	d'après : $h\ d^7 = 41$
d = 1,21 à 0,84	9,10	1.200	418,5	d'après : $h\ d^7 = 130$
d = 0,97 à 0,70	9,10	371	293,7	d'après : (23)

B) *Résumé des prix.* — De certaines conduites qui ont été traitées plus haut, on a déterminé les prix de première installation, les valeurs réelles des pertes capitalisées avec les données financières indiquées, les prix totaux résultant avec l'hypothèse imposée ou déduite du prix global minimum.

La valeur R du kilowatt-an détermine, avec le profil et le débit de la conduite, tous les autres éléments et vice versa, à chaque diamètre ou série de diamètres correspond une valeur de R.

C'est pour cela que sont rapportées, dans le tableau suivant, les valeurs Y, D et R.

TABLEAU III

Prix des conduites avec diverses valeurs de R *au kW an.*

R lires	Y (m.)	D (m.)	Frais de 1re installation	Pertes capitalisées	Coût global
1200	3,91	0,91	Lires 1.493.100	Lires 561.600	Lires 2.054.700
371	9,10	0,77	— 1.072.300	— 405.130	— 1.477.430
371	65,—	0,52	— 487.900	— 2.803.800	— 3.381.700
23,7	65,—	0,52	— 487.900	— 184.800	— 672.700

L'avant-dernière conduite, comme il a été dit, est étudiée pour donner le prix minimum de première installation. La dernière conduite répond seulement analytiquement à une conduite du prix minimum global étant donné l'infime valeur de R.

Récapitulation

1° Dans une conduite de n tronçons d'égale longueur dans chacun desquels les pertes de charge augmentent dans les mêmes proportions que la suite des chiffres naturels, on détermine les diamètres en utilisant une des deux formules ci-dessous :

$$d_r = 0{,}87\ D\ (n+1)^{0,2}\ r^{-0,2}$$

$$h_r\ d_r^7 = H\ D^7\ \psi\ (n)\ \varphi\ (r)$$

où : r varie de 1 à n ; les valeurs h représentent les profondeurs moyennes pondérales de chaque tronçon ; H est la chute utilisée ; D le diamètre de la conduite à section constante de même perte de charge due aux frottements qu'en cas d'une conduite à sections progressivement variables.

2° Le prix minimum intégral d'une conduite à diamètre constant peut être en moyenne considéré comme suit : 72 % par les frais d'installation et 28 % par la capitalisation des pertes.

3° Le diamètre économique en fonction du coût d'une conduite à section constante est donné par l'expression suivante :

$$Z\ D^7 = 0{,}214\ L\ R\ Q^3$$

4° Les diamètres économiques d'une conduite à section progressivement variable en fonction de son prix de revient intégral sont donnés par :

$$h\ d^7 = 0{,}1112\ R\ Q^3$$

5° Le diamètre d'une conduite au capital minimum des premiers frais d'installation s'obtient en utilisant l'expression :

$$D = 0{,}45\ L^{0,2}\ Q^{0,4}\ H^{-0,2}$$

Cette valeur D introduite dans l'expression de d_r donne les valeurs des diamètres correspondants d'une conduite à section progressivement variable, mais avec la même perte de charge totale. Elle sera composée par n tronçons dont les pertes de charge partielles croissent comme la suite naturelle de nombres.

6° Dans une conduite à section progressivement variable constituée par n dénivellations de longueurs l_1 l_2, l_3... l_n dans lesquelles les pertes spécifiques augmentent comme la suite naturelle des nombres, les diamètres restent constants dans chaque dénivellation et sont donnés par :

$$d_r = D \left[\frac{\Sigma\ n\ l_n}{L}\right]^{0,2} r^{-0,2}$$

D étant le diamètre de la conduite d'égales pertes de charge totales.

BIBLIOGRAPHIE

1897 PROF. LUIGI ZUNINI, « Progetto di derivazione dall'Orba ».

1899 ING. FRANKLIN COLAMONICO : « Determinazione del diametro delle condotte forzate per usi industriali in base a criteri economici ».

1903 ING. REMO CATANI : « Condutture industriali a diametri variabili ». *Il Politecnico*, du mois d'avril.

1903 Idem, *Bulletin Technique de la Suisse Romande.*

1904 Idem, *Houille Blanche,* mars 1904.

1904-1929 PROF. COLOMBO : « Manuale dell'Ingegnere », à partir de l'édition 1904 jusqu'à la 59e de 1929.

1903 ING. G. D. CANGIA : « Alcune formule di economia per il calcolo dei canali e acquedotti industriali ; Parte 1a : Condutture forzate », journal *Il Monitore Tecnico*, nos 16, 17, 20, 21.

1906 ING. A. ANASTASI : « Sul profilo più economico delle condotte forzate in lamiere di ferro o di acciaio ». *Annali Soc. Ingegneri e Architetti Italiani.*

1907 ARTHUR L. ADAMS : « A solution of the Problem of determining the economic size of pipe for high pressure water installation ». *Ann. Soc. of Civil Engineers*; du mois de mai,

1908 ING. MARIO DORNIG : « Calcolo delle condotte d'acqua a diametro variabile in base al criterio della massima economia del materiale ». *Annali Soc. Ingg. Architetti Italiani*, n° 18.

1910 ING. L. PIERRE : « Houille Blanche », mars, juin, juillet.

1919 ING. FERDINANDO PAGLIARO : « Condotte forzate di massima Economia ». *L'Elettrotecnica,* n° 36.

1919 ING. ETIENNE PACORÈT : « La Technique de la Houille Blanche », Tome I.

1925-1926 ING. P. SANTO RINI : « Houille Blanche ».

1930 PROF. ING. ETTORE SCIMEMI : « Delle perdite di carico nelle condotte chiodate » . *L'Energia Elettrica*, août.

1932 ING. UMBERTO BONO : « Problemi costruttivi inerenti alle tubazioni forzate ed opere accessorie ». *L'Energia Elettrica*, octobre-novembre.