Dans ce cas, avec le coefficient de contraction : 0,75

$$q = 1,596 \times 4,35 \times 0,75 = 5805 \text{ litres,}$$

$$\text{d'où force } F = \frac{5,805 \times 1,20 \times 0,65}{75} = 60 \text{ chevaux } 37.$$

On arrive donc à une force supérieure à celle donnée : 50 chevaux sous 1 m. 200, en supposant la turbine toute grande ouverte.

Les constructeurs ont pour habitude, dans les turbines de ce genre, de donner toujours une section un peu plus grande pour parer à certaines éventualités, comme, par exemple, orifices obstrués, ce qui diminue la section disponible, ou bien de profiter encore, autant que possible, d'un supplément de débit.

Maintenant que nous vous avons donné les dimensions principales et conditions de marche générales de cette turbine, nous allons donner la description de l'installation.

Toutefois, avant, nous pouvons signaler que les usiniers ont tenu à faire part aux constructeurs de toute leur satisfaction sur la marche de leur turbine, après différentes expériences en marche, dénoyée et noyée, ainsi disent-ils :

« Notre turbine fonctionne à notre entière satisfaction » et, à la suite d'une expérience avec 0 m. 400 d'eau sur le « distributeur, le rendement est excellent ».

La planche ci-jointe permet de se rendre compte de l'installation de la turbine.

Elle a été placée à peu près dans l'axe du canal, du reste, juste au même axe que l'ancienne turbine, puisque l'on devait arriver à se raccorder directement au vertical existant.

Le distributeur repose sur une charpente en fer à I, dont la face supérieure est placée à 1^m850 au-dessous du niveau amont; les vides existants entre les fers sont remplis par des voutins en briques, le tout étant recouvert d'une couche de ciment pour arriver à former une chambre étanche.

Le fond de la chambre est fait de la même façon, ainsi, du reste, que le plancher du sol de l'usine.

La charpente du distributeur est supportée, en outre des encastrement dans les murs, par des colonnes en fonte reposant sur des dés en pierre.

La charpente supérieure du sol de l'usine est supportée par quatre consoles en fonte fixées au mur de la chambre et dont la partie inférieure repose sur un sabot en pierre. C'est sur cette charpente que le boitard de l'arbre creux est fixé. Par suite des dispositions existantes, il fallait prévoir deux pignons et, par conséquent, deux supports, afin d'obtenir un ensemble très solide : les constructeurs ont réuni sur une plaque unique les deux supports et le boitard ; la plaque est fixée solidement à la charpente, ce qui donne un ensemble très stable et assure le bon fonctionnement des engrenages d'angle de commande.

La tête de l'arbre creux reçoit le prolongement du vertical ancien du moulin, qui était également une des conditions imposées.

Nous ne donnerons pas la description du distributeur et de sa double fermeture, ainsi que de la turbine ; leurs dispositions en sont bien connues de nos lecteurs.

Dans le cas présent, la manœuvre des rouleaux pour la fermeture et l'ouverture des deux compartiments se fait séparément, au moyen de deux commandes distinctes placées sur le premier plancher.

Les disques de fermeture sont en cuir hydrofuge d'une préparation spéciale, assurant l'étanchéité parfaite et un long service.

La turbine proprement dite est calée sur un arbre creux, dont le pivot est placé au sol de l'usine et, par suite, facile à surveiller et à entretenir ; ce pivot repose sur une colonne en fer fixée sur une poëlette fortement scellée au fond de la chambre sur un dé en pierre dure.

Ainsi se résument les principales dispositions de cette installation dont toutes les parties, malgré les difficultés d'emplacement, sont fort bien réunies et font honneur aux constructeurs.

G. MINGA.

Ingénieur des Arts et Manufactures.

ETABLISSEMENT DES CONDUITES FORCÉES

Historique des conduites forcées pour forces motrices. — En 1837, Fourneyron augmenta la vitesse sur les roues motrices en créant une chute de 112 mètres de hauteur et réalisa ainsi la première turbine sous haute chute.

Cette installation, qui renversa complètement les idées de cette époque, fut construite par Fourneyron lui-même, au Chambon, près Saint-Etienne, pour M. le baron d'Eichtal à Saint-Blaise (Forêt-Noire) Grand Duché de Bade.

La canalisation, qui était faite pour un débit de 60 à 70 litres, a résisté jusqu'à ce jour d'après le renseignement fourni par M. Crôzet-Fourneyron, sénateur de la Loire, neveu de l'illustre ingénieur et académicien Fourneyron.

Vers 1850, la société Nicolai fit construire par la maison Ansaldo, de Saint-Pierre d'Arena, une canalisation de 150 mètres de pression pour conduire les eaux des Apennins sur une longueur de 40 kilomètres. Cette canalisation, qui était destinée à alimenter Saint-Pierre d'Arena et Gênes, fut exécutée par l'ingénieur milanais Sati.

Notre compatriote Girard, installa sur cette canalisation quelques turbines destinées à distribuer de la force à domicile à Saint-Pierre d'Arena et à Gênes.

Un peu plus tard, en 1856, on installa une canalisation en tôle de 1 mètre de diamètre sous 55 mètres de chute pour actionner des turbines de 150 chevaux à la filature Cobiانchi et C^{ie} à Intra (Lac Majeur).

A peu près à la même époque — vers 1855 — une canalisation de 0^m320 de diamètre sous 110 mètres de chute fut installée pour la filature de soie Camenzind frères à Gersau (Lac de Lucerne).

Nous signalerons encore au nombre de ces premières installations une canalisation de 500 litres sous 150 mètres de chute qui fut exécutée en 1860 pour la filature de Schilbach à Flums (Suisse) près du lac de Vellenstadt. Nous devons ces renseignements rétrospectifs à l'obligeance

de M. Leprince, l'ingénieur-hydraulicien bien connu de Boulogne-sur-Seine.

Enfin nous citerons, pour mémoire, diverses installations de 100 à 150 mètres de chute exécutées avant 1866 date à laquelle ces installations firent leur apparition dans notre région du Dauphiné où elles se développèrent si rapidement.

C'est là que, peu après, par suite de la hardiesse de M. Bergès, les chutes devaient atteindre des hauteurs de 500 mètres permettant ainsi d'obtenir des puissances considérables avec le débit des ruisseaux de montagne.

Nous faisons remarquer que cet historique rappelle seulement les installations *pour turbines*, car des conduites forcées proprement dites existaient depuis longtemps déjà. Ainsi nous pouvons citer celle qui fut établie en 1676 par Renquin Swalm pour amener les eaux au fameux aqueduc de Marly destiné à alimenter le parc de Versailles ; la

En tenant compte des pertes, vaporisation comprise, ces chiffres s'abaissent à :

1 m65 pour 2000 mètres et au-dessus.

1 mètre entre 1200 et 2000 mètres.

0 m75 entre 700 et 1200 mètres.

La surface du bassin étant connue, on peut ainsi déterminer le volume d'eau annuellement disponible.

Mais, si cette quantité d'eau est constante, la répartition mensuelle est très variable ; le débit varie dans le rapport de 1 à 10.

Cette non uniformité de débit est l'inconvénient le plus sérieux des chutes, aussi les ingénieurs ont-ils recherché à régulariser ce débit avec l'emploi d'accumulateurs naturels ou artificiels, mais jusqu'ici les études ont été infructueuses, tout au moins pour les accumulateurs artificiels.

Importance des conduites par rapport au prix de revient d'une installation. —

Dans deux installations hydrauliques de même puissance, certaines parties sont identiques ou à peu près : usines, collecteur, turbines, etc., mais les frais que nécessite l'amenée des eaux peuvent être extrêmement variables.

Si l'usine se rapproche de la source du cours d'eau, celui-ci est encaissé dans les roches et sa situation permet alors l'établissement d'un tunnel qui, avec une très faible pente, déversera l'eau du torrent dans une chambre d'eau située au-dessus de l'usine.

On diminue ainsi le plus possible la longueur des conduites forcées qui est la partie la plus coûteuse.

Ce cas est celui de l'usine

de Chedde (Haute-Savoie), pour laquelle nous donnons ci-dessous le prix de revient du cheval :

Valeur foncière de la chute, travaux de prise, tunnel d'adduction, tuyaux acier.....	900 000 fr.
Collecteur.....	50 000 »
Turbines.....	120 000 »
Bâtiment et canal de fuite.....	100 000 »
L'installation se monte donc à.....	1 200 000 fr.
Intérêt de l'argent à 5 %.....	60 000 »
Entretien et amortissement des turbines, 10 % de leur valeur.....	12 000 »
Amortissement des tuyaux en tôle d'acier dont la durée peut être évaluée à 50 ans.....	2 000 »
Graissage des turbines.....	2 000 »
Un homme pour le réglage des vannes de prise.....	1 200 »
Deux mécaniciens et deux aides à la surveillance des turbines.....	6 000 »
Pour entretien de la prise, dragage, etc.....	7 000 »
Soit au total.....	90 000 fr.

Canalisation
de 3 m30 de diamètre.

Conduite de Champ

Société Hydro-électrique de Fure et Morge

pression maximum supportée par la conduite était de 154 mètres, distance verticale comptée depuis le niveau des eaux moyennes de la Seine jusqu'à la tour où aboutissait le magnifique aqueduc de Louveciennes.

Considérations générales. — Avant de nous étendre sur la question *conduite* proprement dite, nous dirons quelques mots des installations hydrauliques considérées dans leur ensemble.

Au point de vue du régime des eaux dans les parties montagneuses de la France, les renseignements pluviométriques de Schrader et Reclus donnent comme hauteur d'eau tombant annuellement :

2 mètres pour 2000 mètres d'altitude,
1 m25 entre 1200 et 2000 mètres,
0 m75 à 0 m80 entre 700 et 1200 mètres.

L'usine étant installée pour produire 10000 chevaux sur l'arbre des turbines, le cheval-an de 24 heures revient donc à 9 francs.

Cette installation ne doit pas être citée comme un cas général, mais comme un minimum.

A mesure qu'on s'éloigne de la source, la pente du torrent diminue, il faut alors suivre le thalweg du cours d'eau. On sait que la façon la plus ordinaire de résoudre ce problème est la suivante :

Etablissement d'un canal ouvert arrivant à la chambre d'eau que l'on met aussi élevée que possible.

Canalisation en tuyaux de ciment armé jusqu'à une pression de 2 kilog. environ et achèvement de la conduite avec des tuyaux en acier jusqu'au collecteur de l'usine.

Ces installations sont faites en général dans les cas de très gros débits. Elles sont en réalité plus coûteuses que les précédentes, mais comme on se trouve dans le voisinage des grandes villes où le cheval a une grande valeur, elles ont leur raison d'être aussi bien que les premières.

L'installation type de ce genre est celle qui existe sur les bords du Drac à 11 kilomètres de Grenoble.

La conduite a 3^m30 de diamètre et est en deux parties :

1^o Environ 3km en ciment armé;

2^o Environ 2000 mètres en tuyaux tôle d'acier (1).

Calcul de la puissance en chevaux d'une chute. Détermination du diamètre et de l'épaisseur de la tôle.

Calcul de la puissance en chevaux d'une chute.

Soient : Q = débit par seconde, en litres,
 H = hauteur de chute, en mètres,
 N = nombre de chevaux sur l'arbre de la turbine.

Le nombre de kilogrammètres est : $Q \times H$, et en admettant un rendement de 75 % pour la turbine, on a :

$$N = \frac{Q.H}{75} \times \frac{75}{100} = \frac{Q.H}{100}$$

(1) Voir *La Houille Blanche*, N° 6. La plus grande partie de la canalisation en tôle a été construite par la maison Bouchayer-Viallet. C'est par erreur que dans ce numéro la construction entière de cette canalisation a été attribuée à la maison Joya. N. D. L. R.

Etant donné le débit Q et la longueur de la conduite L , l'écoulement du liquide produira une perte de charge proportionnelle à la longueur, à la vitesse du liquide et au diamètre du tuyau.

Parmi ces trois quantités, la longueur seule est fixe. Il faudra donc faire varier les deux autres de manière à réaliser la plus grande économie. Or, si on veut diminuer la perte de charge, il faut augmenter le diamètre et par conséquent le poids de la conduite. Il faut donc par un travail de tâtonnements arriver à ce que la perte de charge admise soit telle que si on augmente le diamètre, l'économie réalisée par la diminution de cette perte donne un chiffre inférieur à celui dépensé pour obtenir ce surcroît de diamètre.

Société du Lac de Guéry, au Mont Dore, *Usine de la Compissade*. Conduite de 0 m. 600 de diamètre, 850 mètres de longueur, hauteur de chute : 42 mètres, construite par la Maison Bouchayer et Viallet, de Grenoble

Ce calcul suppose qu'on connaît au préalable pour l'installation le prix de vente du cheval hydraulique ce qui, en général, est difficile à apprécier.

De plus, les calculs qui ont été faits jusqu'ici sur l'écoulement du liquide sont basés sur des expériences faites sous de faibles pressions pour des tuyaux de petit diamètre.

Les formules pratiques paraissent donner des résultats trop forts et ce sont celles de M. Maurice Lévy qui donnent la meilleure approximation.

Les formules de Prony et de Darcy donnent pour les grands diamètres des résultats *deux fois trop forts*.

La formule qui relie les éléments de la section du tuyau à la vitesse du fluide a été mise par Maurice Lévy sous la forme suivante :

$$\left(\frac{U}{20,5}\right)^2 = RI(1 + 3\sqrt{R})$$

U étant la vitesse moyenne, R le rayon intérieur, I la perte de charge par mètre.

Pour rendre son application plus simple, on a exprimé la vitesse moyenne en fonction du débit Q et du diamètre intérieur et en groupant certaines parties, on a obtenu une formule dont tous les termes sont connus avec l'emploi d'une table dressée par M. Henri Vallot.

Quant à la perte de charge produite par les coudes et changement de section, les expériences que nous avons faites personnellement nous autorisent à conseiller de ne pas en tenir compte dans les calculs en ayant soin d'éviter les coudes brusques et de raccorder les changements de section, quand cela est possible, par un cône allongé.

mant p_0 qui est la pression atmosphérique, on obtient la formule approchée suivante :

$$e = \frac{PD}{200R} \text{ qui donne } e \text{ en millimètres.}$$

P étant la pression en kgr par cm^2 .

D le diamètre en m/m,

R la tension en kgr par mm^2 de section que supportera le métal.

La valeur prise par R est différente suivant la qualité du métal.

$R = 6$ kgr. pour l'acier de déphosphoration obtenu par le procédé Thomas.

$R = 8$ kgr. pour l'acier Martin.

Pour les conduites qui exigent des conditions de sécurité absolues, il y a lieu de compléter la formule précédente par l'addition d'une constante.

Cette formule devient donc :

$$e = \frac{PD}{200R} + C^{\text{te}}$$

C'est ce qu'on fait toutes les fois qu'il y a lieu d'assurer un service public ; éclairage, transport, tramways, distribution d'eau, etc.

La constante adoptée suivant le degré de sécurité à obtenir varie de 2 à 3 m/m.

Choix des tôles. Coups de Bélier. Dilatation.

Choix des tôles. — En dehors de la tension provenant de la pression, les conduites sont sou-

mises à d'autres efforts dont nous parlerons plus loin et qui déterminent d'une façon absolue la qualité du métal à employer.

Ce métal doit offrir une grande résistance, être très élastique, ce qui ne s'obtient qu'avec des aciers de première qualité provenant de forges spéciales.

Le métal employé ordinairement est des deux qualités suivantes :

1^{re} Acier extra doux, construction 1^{re} qualité dont la résistance R à la rupture est de 38 à 40 kgr., et l'allongement A de 24 à 26 % ; avec tolérance de 2 % en plus ou en moins, correspondant à une résistance de 2 kgr. en moins ou en plus, la somme $R + A$ restant égale à 64 ;

2^{de} Acier extra doux qualité chaudière, avec $R = 38$ à 40 kil., $A = 26$ à 28 %, la somme $R + A$ restant égale à 66.

Compagnie des chemins de fer P.-L.-M. Usine de Servoz (Hte-Savoie). — Conduites de 0 m. 900 de diamètre 280 mètres de longueur, hauteur de chute : 45 mètres

Diamètre de la conduite et épaisseur de la tôle. — La vitesse de la veine liquide étant déterminée par la perte de charge admise, nous pouvons déterminer le diamètre de la conduite, et par suite l'épaisseur donnée à la tôle, par la formule suivante très simple qui est dérivée de la formule générale de Lamé :

$$e = \frac{D}{2} \left(\sqrt{\frac{R + p}{R + 2p_0 - p}} - 1 \right)$$

e étant l'épaisseur de la paroi, D le diamètre intérieur, p la pression intérieure, p_0 la pression extérieure et R le plus grand effort d'extension auquel les fibres de la section sont soumises.

De cette formule générale, en tenant compte de ce que dans la plupart des cas le diamètre est très grand par rapport à l'épaisseur, on néglige $\frac{e}{D}$ devant l'unité et en suppri-

Coups de bélier. — Nous avons dit plus haut que pour ces aciers Martin qui viennent de forges spéciales, on pouvait prendre $R = 8 \text{ kgr}$. On ne doit pas dépasser cette limite car les conduites sont soumises, soit pendant le remplissage, soit pendant la marche, à des phénomènes de coups de bélier provenant de l'arrêt ou du réglage des turbines. Ce phénomène peut augmenter la pression, par conséquent la tension supportée par les tôles, et faire travailler le métal au delà de sa limite d'élasticité ce qui amène parfois la rupture de la conduite. Ceci est surtout très important pour les parties en fonte qui existent toujours dans une canalisation, la fonte étant, comme on le sait, très peu élastique.

Pour diminuer les effets des coups de bélier, on avait songé à l'emploi de soupapes à ressorts ou à contrepoids qui ont souvent donné de mauvais résultats. Du reste leur levée ne peut s'effectuer qu'après l'accroissement de pression et par conséquent n'empêche pas la tôle de supporter le choc.

Pour supprimer ce retard à l'ouverture, on a remplacé ces soupapes par des vannes compensatrices conjuguées au mouvement du vannage et qui, par conséquent, s'ouvrent au moment même où la vanne d'entrée aux turbines se ferme. Cette vanne compensatrice se ferme ensuite très lentement.

Nous donnons ici la formule très simple établie par M. Michaud, ingénieur à Vevey, formule qui détermine en secondes la durée T de la fermeture, pour que le coup de bélier B évalué en mètres ne dépasse pas une quantité donnée :

$$T = \frac{2LV}{gB}$$

et dans laquelle, $L =$ Longueur de la conduite exprimée en mètres,

$V =$ Vitesse de l'eau en mètres : Sec.

$g =$ Accélération due à la pesanteur.

Dans le cas de conduites de grande longueur et de faible hauteur, on dispose des cheminées le long de la conduite et notamment dans le voisinage des turbines. La masse de la colonne d'eau en jeu n'est plus alors que celle contenue dans la cheminée et non celle de la conduite toute entière, ce qui diminue considérablement les effets dus à l'inertie.

Ainsi que l'a dit M. Rateau dans un article de la *Revue de Mécanique* du 31 mai 1900, les réservoirs d'air dont l'application vient naturellement à l'esprit n'ont jamais été employés jusqu'ici.

Pour une installation importante où la masse d'eau était énorme (conduite de 5^{km} de longueur, diamètre 3^m30) on a étudié cette question de très près, mais le volume de ces réservoirs eût été tel qu'on a dû renoncer à leur emploi et construire une cheminée à l'extrémité du collecteur des turbines.

Dilatation. — La tôle doit, indépendamment des efforts ci-dessus, pouvoir supporter sans risques les effets dus à la dilatation.

Tout d'abord, on préconisait l'emploi des joints de dilatation, qui sont à peu près abandonnés aujourd'hui, car dans certaines installations des accidents se sont produits grâce à ces joints.

On cherche seulement à diminuer ces effets soit en enterant la conduite, quant cela est possible, soit en la recouvrant de 30 centimètres de terre. Quand les conduites sont au-dessus du sol, on les peint en blanc pour amoindrir les effets de la chaleur solaire.

Dans la plupart des cas, la conduite étant constituée d'une série de tronçons réunis entre eux par l'intermédiaire de joints, ces derniers se compriment et s'ouvrent très légèrement sous l'effet de la dilatation. On a remarqué dans les conduites de grande longueur que les coudes s'ouvraient et se fermaient suivant que la conduite était pleine ou vide. D'autres fois, ces coudes se déplaçaient sur leurs piliers. Quoi qu'il en soit, en supposant même que les tronçons soient rivés bout à bout et qu'il soit impossible à la conduite de se déplacer, le métal doit seul, par sa nature, résister à la dilatation.

En effet, plaçons-nous dans les conditions suivantes, qui sont à notre avis les plus désavantageuses : les conduites ayant été mises en place pendant l'été à une température de 35°, supposons qu'on soit amené à les vider pendant l'hiver alors que la température extérieure est de 15° au-dessous de zéro, soit un écart de température de 50°. Le coefficient de dilatation de l'acier étant de 0,0000116, pour une longueur de conduite égale à un mètre, la contraction serait de : $0,0000116 \times 50 = 0,0000580$

La conduite étant supposée amarrée à ses deux extrémités devrait donc s'allonger de 0,0000580 par mètre et l'effort de tension résultant de cet allongement serait de :

$$R = 0,00058 \times 17500 = 10^k 15.$$

(17500 étant le coefficient d'élasticité de la tôle d'acier).

Cet effort ne pouvant se produire que lorsque les conduites sont vidées, l'effort de tension dû à la pression ne vient donc pas s'y ajouter. Or, la charge limite d'élasticité du métal défini plus haut étant comprise entre 12^k et 14^k, on est donc dans de bonnes conditions de sécurité. Cela pouvait se prévoir d'ailleurs puisque la différence de température de 50° donne un allongement de 0,00058 par unité de longueur, ce qui est inférieur à l'allongement proportionnel du métal à la limite d'élasticité qui est de 0,0008. Pratiquement, à la pose, on réduit cet effort de moitié en profitant d'une température moyenne pour achever la mise en place des conduites.

A ce sujet, nous extrayons du cahier des charges de la Compagnie des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée relatif à la construction des conduites de l'usine hydro-électrique de Servoz (1) l'article suivant :

« ARTICLE 130. — La pose des conduites forcées devra être faite de façon à ce que leur jonction avec la chambre d'eau et avec les brides d'attente qui émergent du bâtiment de l'usine ait lieu de préférence par un temps froid et au plus à la température de 8° au-dessus de zéro. »

Avec cette précaution, les conduites, sous l'effet des variations de température, ne travaillent qu'à la compression et non à la tension.

Amarrages. — Dans la plupart des cas, les conduites doivent être solidement amarrées à leurs deux extrémités qui sont

(1) Ces conduites ont été construites par la Maison Bouchayer et Viallet de Grenoble.

des points fixes, usine et chambre d'eau, mais non dans l'intervalle, de façon à leur laisser prendre librement le cintre qu'exige la dilatation.

Etant donné le travail R défini plus haut de $10\text{ k}15$ par m^2 de section, l'effort total de tension dû à la dilatation est donc de

$$\frac{\pi (D^2 - d^2)}{4} \times 10.15$$

d et D étant les diamètres intérieur et extérieur de la conduite en millimètres. Chacun des amarrages aurait donc à supporter théoriquement la moitié de cet effort. Pratiquement, il peut ne pas en être ainsi mais nous conseillons cependant de l'admettre si on a eu soin de profiter d'une température moyenne pour achever la pose.

Les phénomènes de dilatation étant considérablement amoindris lorsque les conduites sont pleines, il convient de ne les vider qu'en cas d'urgence absolue. Toutefois, il convient de laisser libre un écoulement permanent dans les conduites qui ne travaillent pas en hiver pour empêcher la congélation de l'eau.

On déterminera le volume d'eau à laisser écouler dans la conduite pour obtenir ce résultat en appliquant la formule :

$$q = \frac{S}{T}$$

où q est le volume d'eau à laisser écouler, en mètres cubes par heure.

S le nombre de mètres carrés de surface de tôle exposée au refroidissement.

T la température de l'eau, en degrés centigrades, lors de son entrée dans la conduite.

Cette formule, que nous devons à l'obligeance de M. A. Roucher, ingénieur à Prilly (Canton de Vaud, Suisse), a été établie pour les froids ordinaires des Alpes et on remarquera que si T devenait égal à 1, la formule se traduirait ainsi :

Pour éviter le gel, le débit doit être de 1 m^3 par heure et par mètre carré de surface de conduite exposée au refroidissement.

Autres causes pouvant modifier l'épaisseur des tôles. Conduites de grands diamètres et de grandes hauteurs de chute.

Quand un tuyau est placé sur le sol, son propre poids ainsi que le poids de l'eau qu'il contient tendent à le déformer et à l'aplatir.

Dans les cas ordinaires, c'est-à-dire quand le diamètre ne dépasse pas 800 m , l'épaisseur du tuyau n'étant pas inférieure à 3 m , la tôle résiste d'elle-même et la déformation n'est pas apparente. Il n'en est plus de même quand le diamètre augmente et atteint $2\text{ m}50$ et même $3\text{ m}30$ (conduite de Champ). Ces déformations préoccupaient les constructeurs qui employèrent des dispositifs spéciaux pour empêcher ces aplatissements.

Dans une proposition faite en 1897 par une maison de construction, nous détachons le passage suivant ayant trait à une canalisation de $2\text{ m}50$ de diamètre.

.....

« Tous les tuyaux précédents seraient à double clouure partout, longitudinalement et transversalement, les clouures circulaires renforceraient les tuyaux au point de vue de la section et surtout des déformations sous le poids propre de l'eau. Nous n'avons pas prévu de brides ou de renforts sur ces tuyaux eux-mêmes pour s'opposer à ces déformations.

« Il nous a paru meilleur, à tous les points de vue, pour atteindre ce résultat d'adopter, pour les supports de la conduite un dispositif spécial.

« Ces dispositifs de repos sur les piliers seraient en tôle et cornière et embrasseraient le tuyau sur près de la demi-circumférence. Ils seraient formés de deux flasques bien reliées entre elles, formant une grande surface de tuyau et d'appui sur la maçonnerie.

« La force et la forme de ces supports étant calculées pour s'opposer complètement à toute déformation sensible des tuyaux sur eux. »

Un autre dispositif consiste à disposer de distance en distance des brides en fer cornière placées à environ tous les 4 mètres, ces brides formant joints des tronçons entre eux.

Cette solution a été appliquée à une conduite de $1\text{ m}70$ de diamètre (Usine du Bréda, Société des Forces Motrices du Haut-Grésivaudan), construite par la maison Bouchayer et Viallet, de Grenoble.

Si le terrain sur lequel on s'appuie est incompressible, on peut enterrer la conduite suivant sa demi-circumférence inférieure. Ce dispositif a été employé avec succès pour une conduite de $3\text{ m}30$ de diamètre.

Pour calculer l'épaisseur des tôles nécessaires pour résister à ces efforts d'aplatissement ou pour déterminer les armatures, il fallait se livrer pour chacun de ces cas spéciaux à des calculs compliqués et le plus souvent se baser sur des résultats d'une longue expérience. Les deux derniers numéros du *Génie civil* ont publié à ce sujet une étude théorique fort intéressante due à M. Birault, ingénieur des Arts et Manufactures.

L'équation générale donnant le moment fléchissant dans chaque section de la paroi dans le cas d'un tuyau vide se réduit à la formule très simple :

$$M = K\gamma$$

dans laquelle M est le moment fléchissant cherché; K une constante pour chaque cas particulier dont la valeur est le produit du poids p de la paroi par mètre courant de développement du tuyau par le carré R^2 du rayon; γ une variable fonction de l'angle α qui définit la section considérée :

$$2 = (\pi - \alpha) \sin \alpha - \frac{1}{2} \cos \alpha - 1$$

M. Birault établissant, d'autre part, qu'en chaque point de la paroi, les déformations élastiques dues au poids propre et au poids du fluide contenu, sont proportionnelles, il suffit d'ajouter les effets dus au poids de l'eau à ceux dus au poids propre du métal, en admettant une faible déformation.

Si donc, on fait entrer la déformation due au poids du fluide contenu, la formule générale est la même que précédemment, dans laquelle

$$K = p R^2 + \frac{1}{2} \delta R^3$$

d étant la densité du liquide contenu.

Enfin, une formule très pratique donne la valeur de l'aplatissement du tuyau en donnant la diminution de longueur du diamètre vertical. Il est à souhaiter que cette étude soit bientôt complétée en considérant le cas intéressant du remplissage, car nous croyons que l'aplatissement atteint son maximum avant que le tuyau soit plein d'eau.

En effet, la pression f du liquide ayant une composante verticale, celle-ci agit suivant la pesanteur quand le tuyau est à moitié plein et de bas en haut, quand le niveau de l'eau dans le tuyau dépasse le diamètre horizontal. Cette composante a donc pour effet, d'aplatir le tuyau dans le premier cas et de le redresser dans le second.

Dans la détermination pratique des épaisseurs d'une conduite de grand diamètre, il faudra donc considérer la déformation due au remplissage qui correspond au travail maximum de la tôle. Ce travail n'étant que passager, on pourra sans crainte, par raison d'économie, se rapprocher de la limite d'élasticité du métal, car les conduites ne se vident que très rarement, par suite, le surcroît de travail dû au remplissage, ne se produit que par intervalle.

Tout ce qui précède, suppose la conduite posée sur le sol. Quand elle est placée sur piliers, ainsi que cela a été fait pour une conduite de 2^m50, il faut, en outre, faire intervenir le moment de flexion maximum et l'effort tranchant qui sont obtenus en considérant la conduite comme une poutre continue, supportant la charge uniformément répartie de son poids et de l'eau contenue. Ce surcroît de travail ne doit être donné aux conduites que lorsque la nature du terrain rend impraticable la première solution.

Cas des grandes hauteurs de chute. — Quand les hauteurs de chute dépassent certaines limites, l'épaisseur des tôles est telle qu'il est pratiquement impossible de les travailler dans de bonnes conditions. On est alors obligé de remplacer la conduite unique par une série de conduites, de diamètre plus petit, qu'on peut alors construire aisément. On peut encore conserver une conduite unique avec différents diamètres, le plus grand diamètre, correspondant aux faibles pressions, étant déterminé de telle façon que la perte de charge moyenne soit celle demandée.

Si l'on arrive, malgré cela, à des épaisseurs trop fortes, on sectionne la chute, l'usine génératrice supérieure devient la chambre d'eau de celle venant immédiatement après.

Pratiquement, on peut, à l'aide d'une seule conduite, établir une chute de 1000 mètres débitant 500 litres à la seconde. Or, ce débit se rapprochant du maximum de ce qu'on peut avoir à une altitude aussi élevée, les cas où l'on devra sectionner seront donc rares et ne se présenteront que lorsqu'on pourra emmagasiner pour débiter ensuite pendant un laps de temps restreint.

Quand l'épaisseur des tôles dépasse 18 m/m, on a intérêt à remplacer les clouures ou tout au moins celles qui sont longitudinales, par la soudure autogène des tôles. En effet, le calcul rationnel des clouures oblige alors à admettre des triples

rangées longitudinales de rivets. Il existe à Villelongue, dans les Hautes-Pyrénées, un exemple de cette construction. Au bas d'une chute de 545 mètres, un collecteur de 600 m/m de diamètre est constitué par des tôles de 26 m/m d'épaisseur avec triples clouures longitudinales. On a un travail plus sérieux en soudant l'extrémité des tôles et on obtient ainsi toute sécurité.

En Suisse, la Société des Forces Motrices du lac Tanay a installé une conduite en acier sous 920 mètres de chute qui détient le record de la pression. Elle est construite en acier Martin-Siemens, sans aucune rivure; les plus gros tuyaux ont été soudés à la main, les autres au laminoir. Pour ne pas encourir de risque, la Société a exigé que tous les tronçons soient essayés à l'usine avec 50 % de surpression, le métal travaillant normalement à 7 kil. 500. Aux essais, la tôle travaillait donc à environ 11 kil., ce qui, dans ce cas particulier, pouvait ne pas être nuisible, car on était loin de la charge correspondante à la limite d'élasticité, le métal ayant été choisi de première qualité.

Aplatissement des conduites dû à la vidange brusque.

A la mise en charge d'une conduite, une rupture brusque se produisant par un joint de dilatation, la canalisation s'est vidée spontanément et, fait curieux, la partie située à l'amont de la conduite s'est aplatie complètement.

Ce phénomène peut s'expliquer, croyons-nous, de la façon suivante : Pendant la vidange, la conduite s'est ovalisée sous son propre poids et sous le poids du liquide qui la remplissait partiellement; de plus, le reniflard n'étant pas d'un diamètre suffisant, un vide barométrique relatif s'est établi à l'intérieur du tuyau. Celui-ci n'ayant plus la forme circulaire, mais une forme se rapprochant de la forme elliptique, se trouvait sous le coup de la loi de Bélanger qui indique que le travail du métal est alors proportionnel au carré de la différence des axes.

On peut donc s'expliquer pourquoi cette conduite, qui aurait dû résister si elle avait été un cylindre à section circulaire, s'est aplatie sous l'effet du vide partiel produit par la vidange brusque.

Durée des conduites. — Oxydation.

On ne peut pas donner sur ce chapitre, des renseignements précis, car les premières installations ne sont pas encore très anciennes, et l'on ne peut rien affirmer sur leur durée exacte. Toutefois, nous connaissons, dans notre région, des canalisations en tôle de 3 m/m d'épaisseur qui existent depuis plus de 20 ans, et fonctionnent actuellement sans donner aucun sujet d'inquiétude.

Il est donc probable qu'une conduite repeinte tous les quatre ou cinq ans, peut parfaitement, dans une évaluation de prix de revient être comptée comme pouvant durer cinquante ans pour les parties minces, mais, encore une fois, ce n'est qu'une hypothèse, puisque l'expérience n'est pas encore venue appuyer ces dires.

Auguste BOUCHAYER,
Ingénieur des Arts et Manufactures.