LA HOUILLE BLANCHE

ÉDITIONS B. ARTHAUD, Succ^r de J. REY, GRENOBLE

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

Abonnement { France..... 40 francs
pour une Année { 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

COMITÉ DE DIRECTION SCIENTIFIQUE

BARBILLION, Professeur titulaire d'Electrotechnique à la Faculté des Sciences de l'Université de Grenoble.

CAMICHEL, Directeur de l'Institut Electrotechnique de Toulouse.

CHALUMEAU, Ingénieur en chef de la ville de Lyon.

DARRIEUS, Ingénieur des Arts et Manufactures.

DUVAL, Directeur des Services électriques de la Société Générale d'Entreprises.

FLUSIN, Directeur de l'Institut d'Electrochimie et d'Electrometallurgie de Grenoble.

GENISSIEU, Ingénieur en chef au Ministère des Travaux Publics.

GRIGNARD, Membre de l'Institut, Doyen de la Faculté des Sciences, Directeur de l'Ecole de Chimie Industrielle de l'Université de Lyon.

MAUDUIT, Directeur de l'Institut Electrotechnique et de Mécanique appliquée à Nancy.

MERCIER, Administrateur-Délégué de l'Union d'Electricité.

DE PAMPELONNE, Inspecteur général du Génie Rural.

PARODI, Directeur honoraire des Services d'Electrification de la Compagnie des Chemins de fer d'Orléans.

PEPY, Professeur à la Faculté de Droit de Grenoble.

PAGNON, Ingénieur I. E. G., Secrétaire général.

SOMMAIRE

HYDRAULIQUE. — Problèmes constructifs relatifs aux conduites forcées et ouvrages accessoires. (Règles pour le projet, la construction et la réception ; résultats d'expériences), par Dr-Ingénieur Umberto Bono.

ELECTRICITE. — La « Direttissima », Bologne-Florence.

DOCUMENTATION.

LEGISLATION. — Le Mois fiscal. — Nouveaux tarifs des impôts sur les bénéfices commerciaux, sur les traitements et salaires, sur les bénéfices agricoles, sur les bénéfices non commerciaux, et de l'impôt général sur le revenu. — La réforme fiscale de l'impôt sur le chiffre d'affaires.

INFORMATIONS. — **BIBLIOGRAPHIE.**

HYDRAULIQUE

Problèmes constructifs relatifs aux conduites forcées et ouvrages accessoires

(Règles pour le projet, la construction et la réception ; résultats d'expériences)

(SUITE)

par Dr.-Ing. UMBERTO BONO

Joints de dilatation.

Dans le domaine des joints de dilatation, il existe deux tendances : l'une, spécialement en honneur dans quelques pays étrangers, ne veut pas de joints de dilatation ; l'autre, spécialement observée chez nous, veut des joints de dilatation dans tous les alignements, ou presque. Le sujet a donné lieu à des discussions, et un détracteur a même affirmé que le joint était appliqué uniquement pour simplifier les calculs. Cette raison, même si on admettait que ce fût la seule, serait en elle-même excellente. Mais il en existe encore d'autres, très nombreuses, qui militent en faveur du joint de dilatation. La suppression du joint procure l'économie de quelques ancrages, pas de tous cependant, parce que cela serait impossible. On ne peut également pas songer à n'avoir que deux ancrages, l'un en tête et l'autre à l'extrémité de la conduite forcée, surtout quand la conduite est longue et qu'elle doit vaincre de fortes dénivellations. Que l'on pense seulement au poids de toute la conduite

à soutenir et on verra que deux ancrages ne suffisent pas, et qu'il en faut encore plusieurs intermédiaires.

Quand les joints de dilatation manquent, les raccords transversaux sont beaucoup plus fortement sollicités, spécialement par les phénomènes thermiques ; ils doivent donc être plus robustes, et, en conséquence, la conduite, pèse et coûte plus. Il faut, en outre, recourir à des dispositifs spéciaux, parce que l'achèvement du montage de la conduite doit être fait en relation avec la température ambiante prévue dans le projet.

Il faut, en outre, laisser pour chaque tronçon, entre deux ancrages, un élément de jonction, dont les dimensions de longueur sont fixées au dernier moment.

Par contre, le joint de dilatation sur chaque alignement rend les calculs des sollicitations longitudinales plus faciles et parfaitement déterminés. Avec sa pénétration, qui peut varier entre des limites très étendues, il corrige les erreurs éventuelles du relevé, ainsi que la différence entre la longueur réelle et la

longueur théorique des divers éléments de montage. Il rend le montage plus facile et plus expéditif ; il permet l'attaque simultanée du montage sur plusieurs points, qui peuvent être choisis au mieux ; il permet encore, durant le montage, de raccourcir un tuyau dont l'extrémité a pu éventuellement s'abîmer dans les manœuvres de transport. De plus, nous avons vu que dans les conduites frettées, il peut tenir lieu également de trou d'homme.

Quand on rencontre des circonstances particulièrement favorables, il devient possible de supprimer quelques-uns de ces joints (par exemple quand il existe des angles en plan sans de notables variations de pente). Le montage devient toutefois beaucoup plus délicat.

Un membre de la UNFIEL a signalé précisément un cas de ce genre : il s'agit d'une conduite frettée pour laquelle, profitant de deux angles en plan, on a monté trois alignements successifs sans joints de dilatation, tout en disposant deux ancrages aux extrémités du tronçon envisagé et un au milieu de l'alignement intermédiaire. Dans cette zone, spécialement au printemps et en été, on eut de fréquents éclatements des garnitures auto-claves parce que les brides s'ouvraient légèrement et que la garniture cédait sous la pression. La chose a été étudiée soigneusement par les techniciens de la Société et du Constructeur, et l'on est arrivé à conclure que la cause résidait probablement dans un défaut de montage. Chaque éclatement de garniture nécessitait le vidage de la conduite et l'interruption du service durant plusieurs heures.

Comme conclusion, je suis d'avis que le joint de dilatation est toujours opportun.

Dans les collecteurs, le joint de dilatation est également recommandable. Il est toutefois nécessaire qu'il y ait à l'extrémité aval un massif d'ancrage contre lequel puisse s'exercer toute la poussée hydrostatique. De cette façon, le tuyau collecteur ne supporte plus la sollicitation axiale due à la poussée hydrostatique sur le fond ; il ne subit donc plus les déformations élastiques axiales qui provoquent toujours des efforts de flexion anormaux sur les dérivations aux machines et sur les attaches elles-mêmes. Il n'est même pas juste de dire que cette solution nécessite un ancrage complet en plus. En effet, le joint de dilatation permet de diminuer l'importance de l'ancrage situé immédiatement à l'amont, cet ancrage n'ayant plus pour fonction que de soutenir le tronçon qui le précède.

Les joints de dilatation sont de divers types, se différenciant l'un de l'autre par des détails de construction. Dans la grande majorité des cas toutefois, le joint est établi sur le principe

Fig. 25. — Joint de dilatation avec boîte à étoupe et presse-étoupe.

du tube télescopique, avec boîte à étoupe et presse-étoupe pour assurer l'étanchéité, tout en permettant l'engagement et le dégagement du tuyau mâle dans le tuyau femelle (fig. 25).

Sous la partie femelle du joint de dilatation, on placera toujours une selle de soutien, afin de fixer la direction de l'axe de la partie mâle.

Ancrages.

Les ancrages d'une conduite forcée comprennent généralement deux choses : le massif de maçonnerie, qui reçoit et maîtrise les poussées de la conduite, et la ferrure qui, attachée d'une manière ou d'une autre à la conduite, transmet ces poussées au massif.

Le plus souvent, le calcul de la partie maçonnée est fait en tenant compte qu'elle réagit par l'effet de son poids, augmenté du poids de la partie de conduite qui repose sur elle. On fait ensuite la vérification au point de vue du renversement et, si c'est nécessaire, également au point de vue du glissement. Ce calcul montre l'importance de la forme à donner au massif. Très souvent, en étudiant judicieusement cette forme, on obtient de meilleures conditions de stabilité tout en diminuant le cube. Cette recherche de la meilleure forme se fait volontiers intuitivement, en partant de la considération que la compression exercée sur le terrain dépend surtout du poids du massif et, à un degré moindre, de l'influence des poussées que le tuyau exerce sur lui. Dans la recherche de la forme la plus rationnelle à donner aux massifs d'ancrage, la pratique sera donc d'une plus grande utilité que la recherche analytique. Un œil bien exercé permettra de dessiner très rapidement la forme la plus convenable dans les divers cas.

La conception du calcul au renversement part de la supposition naturelle que le bloc forme un monolithe. En règle générale, on doit donc exclure de sa construction la maçonnerie simple. Le massif doit être armé avec des fers lui conférant le caractère du monolithe. Ces fers seront distincts des ferrures d'ancrages proprement dite, dont on parlera plus loin, et qui sont toujours portées par le tuyau. On peut aussi, dans certains cas, recourir à une construction cellulaire. On remplit alors les diverses cases avec des matériaux quelconques, dont la fonction est simplement d'ajouter au poids. Mais la case elle-même doit former un tout rigide.

Dans le calcul des massifs, on doit porter beaucoup d'attention au terrain sur lequel ils reposent et à son aptitude à les supporter. Le terrain ne doit absolument pas céder sous les pressions que le massif lui transmet ; des tassements même minimes, peuvent compromettre complètement la stabilité de la conduite forcée.

Il faut se souvenir que la prudence dans le calcul des massifs est une règle excellente ; ce sont en effet les massifs qui assurent la stabilité de la conduite forcée.

On est quelquefois amené à procéder à des dérochages pour augmenter l'assiette du massif. A ces occasions, on entend souvent l'objection suivante : pourquoi devons-nous enlever de la roche pour la remplacer par du béton ?

A première vue, la question semble embarrassante. J'admets d'ailleurs que, dans certains cas, on puisse conserver toute la sécurité désirable, en remplaçant une partie du béton par des fers solidement ancrés dans le rocher, et qui intéressent ce dernier à la résistance. Il faut cependant bien approfondir l'examen avant de se décider dans ce sens. Quand le massif est calculé à la gravité, et qu'il est bien construit, et bien appuyé sur le rocher, il est alors absolument sûr. Quand on veut au contraire faire usage d'ancrages dans le rocher, on court le risque d'être trompé sur la masse de la roche intéressée et on peut très bien se trouver en présence d'un ancrage rendu tout

à fait insuffisant par la présence de failles, de fissurations, etc. Il y a beaucoup d'exemples de conduites ancrées dans le rocher dans des conditions de sécurité complète, mais, je le répète, il faut être prudent dans la généralisation.

Si la conduite forcée court en galerie creusée dans le rocher, le problème du massif d'ancrage se simplifie beaucoup. Dans ce cas, le massif peut trouver un point d'attache sur le fond, sur les flancs et sur la calotte. On peut alors abandonner la

Fig. 26. — Massif d'ancrage avec tuyaux complètement noyés. Ferrures constituées par des cornières doubles rivées sur les tuyaux et par des tirants radiaires.

conception du calcul par gravité et tenir compte seulement des aspérités des parois de la galerie. Dans ce cas, on peut considérer la masse du béton comme encastrée dans ces parois et, naturellement, le volume du bloc en ressort considérablement diminué.

Un autre point à tenir en considération est la possibilité que des courants d'eau s'établissent sous la fondation des massifs, surtout quand le sol de fondation est terreux. Ce sol

27, 28 et 31), ou que le tuyau soit noyé seulement sur sa moitié inférieure (fig. 30), ou encore que le tuyau soit complètement hors du bloc (fig. 29). La disposition de ces ferrures sur le tuyau doit ensuite être étudiée de telle façon que la transmission des efforts se passe, autant que possible, avec une bonne distribution.

L'idéal serait d'avoir toujours le tuyau complètement hors du massif ; de cette façon, le tuyau serait toujours complètement visible, et on pourrait également toujours observer les ferrures d'ancrage dans leur fonction. Cette condition devient encore plus utile s'il s'agit de tuyaux rivés, vu qu'il est difficile que les rivures réalisent immédiatement l'étanchéité et la maintiennent toujours. Si le tuyau est maçonné dans le bloc, et que les rivures perdent, on ne peut pas définir exactement le point de perte et, pour y remédier, il faut refaire le matage intérieur sur toute la longueur de la partie maçonnée. La chose, à ce point de vue, a moins d'importance pour les tuyaux soudés et pour les tuyaux frettés ; on aura pourtant des joints qui viendront

à être noyés dans le béton et qui demeureront ainsi soustraits à l'inspection directe.

Quand on doit noyer dans le bloc des raccords à brides avec garniture autoclave, une bonne précaution consiste à réserver une boîte de drainage sur le pourtour du raccord, à l'aide d'une petite tôle mince, et d'en détacher, au point le plus bas, un petit tuyau de décharge, avec débouché hors du massif. En opérant ainsi, on peut vérifier immédiatement si la garniture tient ou non ; si elle perd et si cette garniture est autoclave, on verra s'améliorer considérablement les conditions d'étanchéité. Une garniture

Fig. 27. — Massif d'ancrage avec tuyaux complètement noyés. Ferrure d'ancrage constituée par un collier de contre-poussée et par des tirants.

court le risque d'être délavé et il convient alors de se prémunir contre un tel danger.

La position relative de la masse maçonnée vis-à-vis du tuyau peut être diverse. Nous passerons en revue les divers cas en parlant des ferrures d'ancrages, parce que c'est d'elles que dépend précisément le choix du type du massif.

Comme il a été dit plus haut, par ferrures d'ancrage, on entend toute cette armature métallique qui est rigidement associée à la conduite et qui a pour fonction de transmettre à la masse du bloc les efforts engendrés par le tuyau même, sous l'effet des poussées hydrostatiques, du poids, des efforts de frottement nés des variations thermiques de longueur, etc. Ne fait donc pas partie des ferrures d'ancrage, au sens propre, l'armature que l'on met dans le massif pour en faire un monolithe.

La disposition de ces ferrures d'ancrage peut être telle qu'elle exige que le tuyau soit complètement noyé dans le massif (fig. 26,

autoclave a en effet besoin, pour fonctionner, d'une différence de pression bien marquée entre l'intérieur et l'extérieur. Or, le drain ne permet pas à l'eau filtrée de se maintenir en pression. Si le drain manque, il peut arriver que la masse du béton soit suffisante pour empêcher pendant longtemps le fonctionnement de la garniture. Cela, sans compter que la masse de béton se met en pression et qu'elle peut se rompre. On a déjà vu des ruptures de massifs pour de telles raisons, et j'en ai rencontré

moi-même, il y a peu d'années, alors qu'on n'usait pas encore de ces boîtes de drainage.

Quand le tuyau est complètement noyé dans le massif, la ferrure d'ancrage utilisée habituellement est celle à cornières (fig. 26) ; on s'en sert pour les tuyaux rivés et soudés, mais pas pour les tuyaux frettés. Des cornières enveloppent les tuyaux à l'extérieur, tout en leur étant solidement attachées

d'ailleurs très efficaces, confèrent aussi une certaine élégance à la construction. Dans la toute récente installation de Vobarno, de la Société Electrique de Brescia, il y a une très belle et importante application de ce type, dans le dernier ancrage des conduites forcées. Dans cette installation, le dit type d'ancrage a été imposé également par d'autres considérations : il a permis, dans des circonstances particulières très spéciales, d'alléger la masse maçonnerie plus que tout autre système. Comparé aux autres types déjà décrits, celui-ci est le plus coûteux sous le rapport de la ferrure ; pourtant, dans de nombreux cas, ce coût élevé peut être largement compensé par l'économie de béton, comme ce fut le cas dans l'installation de Vobarno citée ci-dessus.

Avec les tuyauteries frettées, le type de ferrure adopté jusqu'à maintenant est celui avec collier de contre-poussée. Un collier moulé, de forme généralement tronconique, reçoit la poussée du tuyau sur sa petite base, et la transmet au

Fig. 28. — Massif d'ancrage avec tuyaux complètement noyés. La ferrure d'ancrage se réduit au collier de contre-poussée à l'amont du massif. Comme il s'agit d'un coude avec concavité dirigée vers le haut, les tirants ne sont en effet pas nécessaires.

par des rivures ou des soudures. Le système d'attache des cornières par soudure oxy-acétylénique ou électrique disparaît de plus en plus, et c'est un bien. Les soudures produisent des réchauffements de tôle toujours considérables et plus ou moins localisés ; c'est un désavantage, spécialement pour les tuyaux soudés et dans le voisinage des zones de soudure. Ce type d'ancrage distribue très bien les poussées dans le massif.

Quand le tuyau est noyé à demi, on applique encore des cornières en demi-cercle sur la partie noyée du tuyau, ou bien l'on fixe à celui-ci des tiges de scellement qui

massif, par sa grande base (fig. 28, 32 et 33). On ne met en général qu'un seul collier, mais il faut armer en conséquence tout le massif. Ces colliers pèsent plusieurs tonnes et sont par suite très coûteux. Quand le massif a une longueur notable, qui lui permet d'englober plusieurs raccords de tuyaux, on pourrait certainement admettre que ces raccords servent d'anneaux de poussée. Les constructeurs devraient donc étudier le moyen de transformer les raccords en anneaux de poussée. De cette façon, les colliers seraient éliminés et on épargnerait des tonnes de métal.

Toutes les fois que l'on doit ancrer un coude présentant sa concavité vers le terrain, c'est-à-dire toutes les fois que la résultante des poussées hydrostatiques est dirigée vers le haut, il est bon d'entourer le tuyau, dans sa partie supérieure, avec des attaches qui pénètrent ensuite

Fig. 29. — Massif d'ancrage avec conduite complètement libre. Les ferrures sont constituées par de robustes poutres encastrées dans le massif et solidement fixées aux tuyaux.

se répartissent ensuite dans la masse du béton. Il est nécessaire, dans le premier cas surtout, d'embrasser la partie supérieure du tuyau avec des tirants qui vont plonger dans le massif.

Quand le tuyau est complètement hors du massif, on le tient généralement soulevé au-dessus de celui-ci, tout comme sur le reste du plan de pose. L'ancrage est habituellement obtenu au moyen de robustes poutres composées, généralement en forme de double T, qui sont fixées sur les flancs du tuyau par le moyen de leur âme, et qui pénètrent ensuite profondément dans le massif, en fonctionnant comme de grosses consoles. Quand il y a plusieurs de ces poutres, on réalise un véritable portique multiple, dont le tuyau est un élément. Ces ancrages,

profondément dans le massif. Cette armature spéciale doit être naturellement proportionnée à la composante, prise vers l'extérieur, de la résultante des poussées (fig. 26, 27 et 30).

Comme je l'ai dit précédemment pour les massifs de béton, il est bon, également pour les ferrures, de projeter avec prudence. Les coefficients de travail doivent être tenus bas, parce qu'il convient de réduire au minimum les déformations élastiques de ces fers.

Châssis de guidage.

Les efforts de frottement sur les selles produits par la dilatation thermique dans les divers alignements, provoquent une charge en bout, ou quelque chose de semblable, sur la tuyau-

Fig. 30. — Massif d'ancrage avec conduite partiellement noyée.

terie. Si donc un alignement a une longueur notable, et s'il se trouve en même temps que le diamètre de la conduite soit petit, il est bon de fractionner cette longueur en disposant des châssis de guidage. Leur construction est très simple : avec des profilés, on forme un véritable châssis courbe ou rectangulaire embrassant le tuyau et s'ancrant dans un petit massif, qui peut être un socle de soutien, un peu augmenté dans ses dimensions. Ces châssis fonctionnent tout à fait comme les guides qu'on applique sur les barres longues sollicitées au flambage (fig. 34).

Joints de démontage.

Les joints de démontage sont d'une application très utile dans tous les points de la conduite forcée où il faut pouvoir démonter et remonter rapidement un élément durant l'exercice. Ils doivent donc toujours accompagner les appareils de fermeture et de sécurité, ainsi que les dérivations des machines. Dans certains cas, ils peuvent remplacer avec profit un organe de fermeture très coûteux, pourvu qu'ils soient accompagnés par un bouclier de réserve.

Dans une installation de construction récente, il existe un collecteur de 2600 mm de diamètre, avec 12 atm. de pression de service. Des robinets-vannes, ou des vannes sphériques, pour les sectionnements en cas d'exclusion du service de quelque partie de la conduite, eussent été très coûteux et terriblement encombrants. Une distribution opportune de joints de démontage sur le collecteur, et deux boucliers de réserve, ont également résolu le problème, tout en épargnant des centaines de milliers de lires. Quand on veut exclure, ou une tuyauterie de conduite, ou une branche du collecteur, il n'y a qu'à démonter un joint et appliquer un bouclier à sa place. En moins d'une journée l'opération est terminée (1).

Dans de nombreux cas, pour des raisons d'économie, on remplace le joint de démontage par une simple bride démontable, que l'on place sur un des éléments que l'on doit pouvoir démonter. Celle-ci remplit le même but ; pourtant son étanchéité

(1) Le collecteur cité est celui représenté dans la fig. 8 et il appartient à l'installation de Mezzocorona de la S.G.E.T. Dans la photographie quelques joints de démontage sont visibles.

est plus précaire et, ensuite, la possibilité de correction de longueur n'existe plus, alors que le joint de démontage permet aussi de petites corrections de longueur.

Organes de purge d'air.

Bien qu'ils ne constituent qu'un détail de minime importance, ces organes ont une utilité appréciable. Sur tous les points de la conduite forcée où peuvent se former des poches d'air, il est nécessaire de placer un robinet de purge. Chacun sait combien les poches d'air sont gênantes. Les organes de purge trouveront surtout leur application sur les tronçons horizontaux et tout particulièrement sur les collecteurs et les distributeurs. De petits robinets suffisent.

Appareils de mesure du débit.

Nous ne considérons pas ici les systèmes de mesurage basés sur des principes chimiques, et également par les divers hydromètres qui ne sont pas d'application dans les conduites forcées.

Les appareils de mesure du débit sur les conduites forcées se réduisent, en fait, aux moulinets et aux venturimètres.

Je n'ai pas beaucoup de sympathie pour les moulinets. Sans parler de la difficulté des mesures et des tarages, il est de fait que les conditions de fonctionnement de ces appareils s'altèrent avec le temps, spécialement en présence d'eaux non pures.

Fig. 31. — Massif d'ancrage avec conduite complètement noyée.

J'ai vu des moulinets, construits par d'excellents spécialistes et avec toutes les ressources de la fine mécanique, commencer à mal fonctionner après quelques mois seulement.

J'estime que le venturimètre, quoique plus coûteux, est bien préférable, à cause de sa plus grande exactitude et de la continuité de son bon fonctionnement. L'endroit le plus com-

Fig. 32. — Collier de contre-poussée pour ancrage.

Fig. 33. — Exemple de collecteur ancré à son extrémité aval. La photographie est prise de l'amont vers l'aval. On remarque qu'il manque encore la conduite voisine de la centrale, l'installation n'étant pas encore achevée. On voit, au fond, les deux colliers de contre-poussée et la face amont du massif d'ancrage.

mode pour l'installation des venturimètres est dans le voisinage de la centrale, parce qu'il permet de monter l'appareil enregistreur et indicateur directement dans la salle des tableaux (fig. 35). Certainement, quand les chutes sont très fortes, la construction de l'ajutage devient coûteuse. Dans ces cas, le venturimètre peut être placé, avec une dépense moindre, dans la partie haute de la conduite forcée, en installant l'appareil enregistreur soit dans la chambre des appareils de manœuvre, soit dans la maison du gardien, si elle existe.

S'il y a plusieurs conduites en parallèle on monte naturellement un appareil sur chaque conduite.

Il est presque inutile de rappeler l'utilité des appareils de mesure du débit ; la tendance actuelle des offices gouvernementaux préposés à ces installations est d'ailleurs de les prescrire.

Liaison de la tête amont des conduites avec les galeries maçonnées.

Avant de passer à d'autres sujets, j'attirerai l'attention

Fig. 34. — Châssis de guidage à mi-longueur d'un alignement.

sur un inconvénient signalé par un membre de la UNFIEL.

Dans deux installations récentes, la tête amont de la conduite forcée se raccorde à une galerie sous pression munie d'un revêtement armé. Les premiers tuyaux de la conduite forcée sont noyés sur une certaine longueur (quelques mètres) dans un tampon de béton qui se lie au revêtement armé de la galerie. En ce point de jonction se sont formées des fissures transversales, qui s'élargissent ou se resserrent suivant les variations de la température de l'eau. Naturellement, il s'y produit des pertes qui mettent sous pression les régions avoisinant la galerie, ce qui aggrave la situation. On a apporté un remède avec des dispositifs de fermeture élastique et par la création de drainages appropriés ; l'opération semble avoir bien réussi.

Pour éviter ce défaut, il faut que la conduite métallique pénètre plus profondément dans la galerie revêtue, et ce sera

Fig. 35. — Exemple d'ajutages pour venturimètres appliqués immédiatement à l'amont des robinets-vannes d'arrêt des machines (centrale de Cardano).

une bonne précaution que de prolonger sur la conduite les barres longitudinales du revêtement armé. Ces barres entoureront complètement la conduite et s'attacheront à elle au moyen de ferrures.

Qualité des matériaux (1).

Ce sujet est traité dans tous ses détails dans les « Normes pour la construction et la réception des conduites forcées à haute pression ». Je ne juge donc pas qu'il soit nécessaire de le développer largement, et je me limiterai à un rappel succinct, en renvoyant aux normes ci-dessus visées pour tous les détails relatifs à la composition chimique et aux coefficients.

Les matériaux les plus communément employés dans la construction des éléments des conduites forcées sont :

- la fonte (dont les applications vont toujours en diminuant) ;
- l'acier demi-dur ;
- l'acier extra-doux ;
- l'acier moulé.

Je suis d'avis qu'on devrait arriver à supprimer totalement l'emploi de la fonte dans la construction des éléments qui sont directement soumis à la pression de l'eau. En cela, je suis peut-être un peu trop catégorique ; cependant, le fait est que les appareils en fonte, qui ne sont d'ailleurs employés que sous de basses pressions, sont ceux qui donnent le plus gros pourcentage de ruptures. Dans les conduites forcées, il est bien rare qu'il n'y ait pas quelques phénomènes vibratoires et l'on sait combien ceux-ci sont nuisibles à la fonte. D'autre part, c'est dans les parties hautes de la conduite forcée qu'on rencontre les basses pressions ; or, dans les grandes chutes modernes, ces parties hautes se trouvent dans des régions où la température peut s'abaisser très bas durant l'hiver, ce qui n'est pas sans influencer dangereusement la tenue de la fonte : et cela est encore une bonne raison pour la déconseiller. La fonte, par contre, peut trouver son emploi dans des accessoires de moindre importance.

Dans la préface des « Normes » la Commission déclare, en se référant aux coefficients de rupture et d'allongement et à la qualité en général des matériaux. :

« Une telle fixation des coefficients de résistance et d'allongement, à peine tempérés dans les présentes normes par quelques tolérances pour les tôles de grande épaisseur, constitue une exigence quelque peu élevée de leur qualité, supérieure dans une certaine mesure à ce qu'on pourrait exiger dans l'usage courant.

« La Commission a toutefois estimé qu'il était important d'assurer, avec la valeur des dits coefficients, les conditions de production des matériaux, conditions qu'il importe de remettre en honneur le plus rapidement possible, par le respect des caractéristiques trop négligées en cette période d'après guerre ».

Cela équivalait alors à concéder de légers adoucissements à ces coefficients. Maintenant, au contraire, ces coefficients devraient être considérés comme intangibles.

Les « Normes », en outre, ne donnaient pas de prescriptions pour les tuyaux frettés, parce que leur apparition était alors trop récente et qu'on manquait d'expérience à leur égard. Maintenant, pour eux également, on peut dicter les caractéristiques des matériaux. Pour les tôles des chemises il n'y a qu'à se référer complètement aux caractéristiques des tôles

soudables pour les tuyaux soudés. Pour les anneaux, on peut employer un acier du type semi-dur prévu pour les tuyaux sans soudure, en diminuant un peu sa résistance minimum à la rupture et en augmentant légèrement l'allongement maximum et l'allongement minimum.

Pour l'acier moulé, je suis d'avis qu'il serait utile d'en adoucir la qualité dans toute la mesure possible. C'est pourquoi, je verrais volontiers la charge minimum de rupture descendre jusqu'à 40 kg/mm², à la condition de voir monter l'allongement aux environs de 22 %, sans jamais descendre au-dessous de 18 %. J'ai d'ailleurs déjà constaté, à maintes reprises, que les bonnes aciéries dépassent presque toujours ces valeurs pour l'allongement, tout en maintenant la résistance dans les limites prescrites.

COEFFICIENTS DE TRAVAIL.

Dans l'énoncé des critères de calcul, les « Normes » fixent qu'il faut tenir compte d'« une pression intérieure égale à la somme de la pression hydrostatique, correspondant au niveau maximum que l'eau peut atteindre dans la chambre de charge, et de la surpression due au coup de bélier le plus défavorable qui se puisse vérifier dans les conditions normales de service ». Plus loin, elles prescrivent que la surpression susdite ne doit jamais être inférieure au 10 %.

Pour ce qui concerne la première partie, il serait bon de préciser ce qu'on entend par ce « coup de bélier le plus défavorable qui se puisse vérifier dans les conditions normales d'exercice ». J'ai toujours admis qu'il s'agissait du coup de bélier correspondant à la décharge instantanée de toutes les machines alimentées par la conduite et fonctionnant en pleine charge. Dans de nombreux cas, cette condition peut paraître onéreuse, mais il est pourtant hors de doute qu'elle peut être souvent vérifiée. Vu cette situation, je crois qu'il serait opportun de supprimer cette limite de 10 % fixée comme minimum. Désormais, dans les installations modernes, les turbines Pelton sont toujours munies d'un déviateur du jet et, de leur côté, les turbines Francis possèdent toutes le déchargeur *synchronique* (orifice compensateur). Dans ces conditions, le constructeur peut très souvent descendre au-dessous de cette valeur de 10 % pour le coup de bélier maximum, et cela sans difficultés particulières. On ne voit pas, d'autre part, pourquoi on devrait ajouter de nouvelles sujétions pesant sur la conduite forcée, quand on tient déjà compte de la susdite décharge instantanée maximum.

Plus loin, les « Normes » disent encore : « Les conditions de coup de bélier qui peuvent être considérées comme tout à fait exceptionnelles, mais toutefois possibles dans l'exploitation, comme celles qui correspondent à la plus grande activité simultanée des obturateurs de toutes les turbines d'une même centrale, devront être prises en considération, afin de vérifier que les surpressions correspondantes ne dépassent pas de 50 % la pression hydrostatique ».

Que signifie cela ? Franchement, je ne le comprends pas ; parce que, si l'on veut ici faire allusion à la décharge instantanée de la charge maximum, accompagnée par un bon fonctionnement des régulateurs, ou des orifices compensateurs, cette décharge n'est pas précisément une condition tout à fait exceptionnelle. Il suffit en effet que la ligne aille à terre (court-circuit) pour qu'elle se vérifie sans autre. A moins que la Commission n'ait voulu prévoir ici un mauvais fonctionnement des régulateurs ou des orifices compensateurs. Mais, si nous nous engageons dans les hypothèses des défauts des organes de régulation des machines, nous risquons de rendre prohibitif le coût des conduites forcées. Je crois donc qu'il serait suffisant de donner

(1) On doit relever que le présent rapport a été rédigé avant que les nouvelles « Normes » (italiennes) fussent publiées.

l'interprétation ci-dessus mentionnée pour le « coup de bélier le plus défavorable, entre tous ceux qui peuvent se produire dans les conditions normales d'exercice ».

Dans cette hypothèse, je retiens que les coefficients de travail fixés par les « Normes » sont acceptables.

Il faut pourtant ajouter les coefficients de travail pour les tuyaux frettés. L'usage courant, pour ces tuyaux, est de ne pas fixer séparément les coefficients de la tôle de la chemise et des frettes, mais de donner un coefficient de travail moyen, qui serait celui d'un tuyau soudé idéal, sans frettes, équivalent du tuyau fretté. On laisse ensuite au constructeur la faculté de répartir les charges entre la chemise et les anneaux, soit sur la base de la répartition du métal entre les deux parties, soit sur la base de la qualité de l'acier des anneaux. Je crois que ce système peut effectivement être adopté.

Dans ce cas, en tenant compte que la surpression due au coup de bélier est déjà introduite dans le calcul, je proposerais, comme coefficient de travail, 10 kg/mm².

Pour tout le reste de cette question, je renvoie aux « Normes ».

Avant d'abandonner le sujet des coefficients de travail je veux dire quelques mots des conduites en puits.

Il existe des installations, dans lesquelles la conduite forcée est montée dans un puits creusé dans la roche, l'intervalle entre tuyauterie et roche étant rempli avec du béton. Je ne parle pas ici des tuyauteries élastiques, mais bien des tuyauteries normales rigides.

Dans quelques-unes de ces installations, les coefficients de travail des tuyaux ont été poussés à des valeurs beaucoup plus hautes que les normales. J'ai hâte de signaler une chose : il ne faut pas croire que, par le fait que la tuyauterie est entourée par la roche, cette tuyauterie soit soulagée par cette roche dans la résistance à la pression. En effet, pour que la roche puisse venir en aide à la tôle dans la résistance à la pression, il faut que le tuyau, sous l'effet de la pression, augmente son diamètre, de façon à presser le béton contre la roche et à comprimer cette dernière. Alors seulement la roche réagira. Or, j'affirme que cela ne se produit pratiquement pas.

La chemise de béton, même diminuée dans toute la mesure possible, aura une épaisseur moyenne d'au moins 25 centimètres. Avec ces dimensions, vu la longueur des tuyaux à monter, il sera déjà difficile de réussir à obtenir un béton parfait. Ce béton subit d'autre part, durant la prise, un certain retrait, que nous pouvons immédiatement évaluer de l'ordre de 1/2000 de ses dimensions. Pendant cette prise, également, la température du béton s'élève, et cela d'autant plus que le milieu est complètement clos. La tôle subit cet échauffement et naturellement se dilate. La prise effectuée, tout revient à la température ambiante, et alors la tôle se retire en laissant un intervalle très fin entre elle et le béton. Quand on met l'eau, qui a une température toujours inférieure à celle ambiante (il s'agit de l'intérieur d'une montagne), la tôle se retire encore. Tous ces faits démontrent, qu'à construction finie, il existera un certain jeu entre tôle et béton et entre béton et roche. A cela on doit ajouter une certaine déformation du béton sous l'effet de la compression.

Prenons maintenant un exemple pratique. Considérons un tuyau soudé de 1.740 mm. de diamètre intérieur et calculé pour une sollicitation de 15 kg/mm².

Le coefficient d'élasticité des tôles, rapporté au millimètre carré est de 20 000. Il en résulte que si la tôle travaille à 15 kg/mm² le diamètre de ce tuyau augmentera d'environ 1,3 mm. Le retrait du béton sur 50 cm d'épaisseur est de l'ordre de 1/

de mm. L'écart de température considéré, admis de 25°, provoque une diminution de diamètre de 0,5 mm environ. On voit donc que des 13 dixièmes de mm. d'augmentation de diamètre, 7,5 dixièmes sont absorbés pour compenser ces vides, qui se forment inévitablement. En considérant ensuite la difficulté d'exécution du béton, l'impossibilité d'obtenir un bourrage parfait contre la tôle et contre la roche, et la contraction du béton lui-même sous les premières déformations, on voit facilement que les derniers 5,5 dixièmes de déformation ne sont pas suffisants, même de loin, pour provoquer une compression de la roche et, par suite, son intervention secondant la tôle. En pratique, donc, le tuyau supportera effectivement l'effort de 15 kg/mm², lequel est excessif pour un tuyau soudé, comme il serait également excessif pour un tuyau rivé et peu tolérable pour un tuyau fretté.

Le fait que la tuyauterie est en puits peut atténuer les effets d'une rupture ; à moins qu'il n'arrive ce qui s'est déjà produit dans une installation, où la rupture d'une tuyauterie en puits a mis en pression une vaste zone de l'intérieur de la montagne, en provoquant à sa surface extérieure (distante d'environ 70 mètres) une fissure longue de plus de cent mètres et large de 10 centimètres.

Il me semble donc qu'il est raisonnable d'être prudent dans la fixation des coefficients de travail des tuyauteries rigides bétonnées en puits.

II. — CONSTRUCTION DE LA CONDUITE FORCÉE

On n'entend pas ici donner des règles et des instructions aux constructeurs ; on veut seulement rappeler à celui qui doit étudier une conduite forcée, et qui doit ensuite rédiger le cahier de commande au constructeur, quelles sont les précautions les plus importantes qu'il convient de connaître en matière de construction. Par mesure de plus grande simplicité et de plus grand ordre, je traiterai séparément les divers types de tuyaux.

TUYAUX RIVÉS.

Tout le monde sait maintenant que les trous pour les rivures doivent être exécutés à la perceuse, jamais avec le poinçon. Le poinçonnage des trous provoque un écrouissage de la tôle avoisinant le trou, ainsi que des petites crevasses. Il est arrivé plusieurs fois que des rivures se sont rompues pour cette raison et, dans ce cas, la rupture se produit sous des taux de travail relativement bas. On peut exceptionnellement permettre l'exécution au poinçon d'un trou notablement plus petit que celui définitif, en procédant ensuite à son élargissement à l'aide de l'alésoir. Il est toutefois encore préférable d'éviter ce procédé.

Il est bon que le tracé du perçage soit fait après le façonnage des tôles et avec les bords à river déjà superposés. De cette façon, l'outil perce simultanément les deux épaisseurs, ce qui garantit la parfaite coïncidence des trous.

Quand la rivure est bien faite, sa résistance n'est pas entièrement représentée par la résistance du cisaillement de la tige du rivet, mais encore par le frottement qui se produit entre les deux faces en contact avec les bords rivés, sous l'effet de la tension de la tige du rivet. Pour cette raison les plus modernes presses à river sont munies d'une presse-tôles, c'est-à-dire d'un appareil qui comprime fortement les deux bords à river pendant que l'étampe forme la tête du rivet. Dans cette opération, il faut veiller à ce que l'ouvrier n'enlève pas la pression trop tôt ; un petit temps d'attente est nécessaire afin

que la température du rivet s'abaisse un peu, sinon le rivet s'allongerait sans opposer de résistance, en diminuant d'autant l'efficacité de la rivure.

Les bords des tôles et les têtes des rivets sont matés. Dans cette intention les bords des tôles (chanfreins) sont convenablement usinés à la raboteuse.

Pour les tronçons bétonnés, il convient de ne pas limiter le matage de la rivure à la face extérieure seulement, mais de l'étendre aussi à la paroi intérieure ; ceci afin de diminuer la probabilité de pertes difficiles à localiser.

TUYAUX SOUDÉS.

Je me limite à la soudure au gaz à l'eau.

On peut réaliser cette soudure par le recouvrement des bords à souder ou par l'interposition de métal d'apport. Actuellement, ce second type de soudure est à peu près abandonné dans la construction des tuyaux courants, soit parce que les constructeurs sont maintenant à même d'exécuter d'excellentes soudures à recouvrement, même pour des épaisseurs importantes, soit parce que l'habitude est maintenant prise de passer aux tuyaux frettés quand les soudures à recouvrement deviennent difficiles, c'est-à-dire quand l'épaisseur de tôle à souder dépasse une certaine limite. On ne saurait critiquer cette tendance, car il est certain que la soudure par interposition de métal d'apport est peu sûre et d'exécution difficile.

Il faut apporter beaucoup d'attention dans la détermination de la forme des bords à souder. Cette question est l'objet de nombreux soins de la part des constructeurs : c'est d'elle que dépend en grande partie la bonne réussite de la soudure, parce que c'est d'elle que dépend la distribution des températures sur le point de soudure.

Après la soudure, les tuyaux sont soigneusement recuits. Il s'agit là d'une opération essentielle, parce que le traitement thermique de la soudure modifie grandement les qualités du métal, non seulement sur le point d'attache proprement dit, mais aussi dans les deux zones latérales. Le recuit a pour effet de régénérer le métal en le reportant autant que possible aux conditions initiales. L'opération du recuit est exécutée dans des fours ad hoc et il faut la conduire avec beaucoup de soins. Les meilleurs constructeurs possèdent maintenant de très beaux fours, munis d'appareils enregistrant la marche de la température en divers points du four, convenablement choisis. L'augmentation de température doit être régulière, plutôt lente, et quand la température voulue est atteinte, il est de bonne règle que le tuyau y soit maintenu pendant quelques minutes.

Dès sa sortie du four, le tuyau est porté à la calandre afin de parfaire sa courbure. Il faut agir lestement, afin que toute l'opération puisse s'effectuer à haute température. Le refroidissement se poursuit directement à l'air.

L'épreuve hydraulique doit être exécutée après le recuit.

Il arrive quelquefois, et spécialement pour les petites épaisseurs, que l'épreuve hydraulique fasse découvrir des pertes sur la soudure. On peut, dans ce cas, tolérer des réparations, sauf si on constate que les pertes sont causées par des ruptures indiquant que la soudure n'est pas réussie et que le métal n'est pas soudable. Il faut cependant faire attention à la façon d'exécuter ces réparations. Si la réparation doit être exécutée en faisant encore usage du gaz à l'eau, il faudra procéder ensuite à un nouveau recuit. Très souvent, au contraire, quand il apparaît clairement qu'il s'agit de pertes provoquées par de petits détachements, c'est-à-dire par de petites zones de métal qui

ne se sont pas liées, spécialement sur les petites épaisseurs, il est préférable d'exécuter une réparation à la flamme oxyhydrique, plutôt qu'au gaz à l'eau. La réparation à la flamme oxyhydrique, qui n'intéresse toujours que des zones très restreintes, n'exige pas un nouveau recuit.

TUYAUX FRETTÉS.

Tout ce qui a été dit pour les tuyaux soudés s'applique aux chemises des tuyaux blindés. On peut ajouter que, si on ne rectifie pas au tour l'emplacement des anneaux de cerclage, il faut que l'opération du calandrage, succédant au recuit, soit particulièrement soignée, afin que la surface extérieure du tuyau se rapproche autant que possible du cylindre parfait.

Avant d'appliquer les frettes, il faut s'assurer que la surface extérieure du tuyau est propre ; il faut en particulier enlever soigneusement les écailles d'oxyde (calamine) qui se forment soit durant la soudure, soit durant le recuit. Il ne doit pas y avoir de matières étrangères entre anneau et tôle. Les frettes sont naturellement alésées au tour, sur leur face intérieure, afin de permettre leur ajustage sur la chemise dans les conditions prévues par le calcul. Elles sont ensuite réchauffées et appliquées sur la tôle. Dans cette opération, il faut encore veiller à ce que la chemise demeure propre sur la zone d'application de l'anneau.

Quand le tuyau est refroidi, tous les anneaux seront tendus et la chemise sera comprimée. Pour que le tuyau puisse être qualifié de bien réussi, il faudra éprouver la parfaite adhérence des anneaux sur la tôle suivant tout leur développement. On pourra tolérer quelques minuscules détachements, limités cependant à de petites longueurs ; l'introduction de plaques d'épaisseur entre anneau et tôle est absolument inadmissible. Cela signifierait que la distribution des efforts dans la matière n'est plus celle prévue dans les calculs. C'est dans la zone de soudure que se localisent le plus facilement ces détachements. Mais, comme je l'ai dit, on peut tolérer des détachements de l'ordre du dixième de millimètre, ou légèrement plus, limités à quelques centimètres de longueur.

On ne doit absolument pas tolérer que les anneaux soient ajustés sur les chemises à l'aide de coups, ou, ce qui est encore pire, en les réchauffant. Après de telles opérations, le tuyau ne serait plus un tuyau fretté, et les calculs faits n'auraient plus aucune signification. Le tuyau, une fois fretté, ne doit plus subir de traitement thermique, mais uniquement des opérations à froid.

Dans les tuyaux frettés, les chemises doivent être éprouvées hydrauliquement avant le frettage, et les tuyaux finis après. Naturellement, les pressions d'épreuves devront être différentes et proportionnées, la première fois à l'épaisseur de la chemise et la seconde fois à la résistance du tuyau.

Quelques constructeurs ont l'habitude de passer au tour le siège de l'anneau sur l'extérieur de la chemise ; quelques autres sont au contraire opposés à ce procédé. Je suis en mesure depuis de nombreuses années, de suivre la construction des tuyaux frettés auprès de divers constructeurs. Le plus important d'entre eux, une firme italienne désormais célèbre, qui s'est spécialisée dans ces constructions, ne tourne jamais les chemises. Dans des milliers de tuyaux blindés que j'ai vu construire par cette firme, je n'ai jamais relevé le plus petit défaut à imputer au manque de tournage des chemises. Il est certain que cela impose un soin considérable dans la préparation de la chemise même. Pourtant, une fois la préparation de la chemise terminée comme il convient, l'anneau s'adapte de

façon parfaite. Dans les deux figures 36 et 37 sont représentés deux tuyaux frettés, absolument identiques, qui ont été poussés jusqu'à la rupture. Dans l'un, il s'est produit une petite fissure

péifiantes. Les chemises n'avaient pas été tournées, mais les dits essais démontrent que la valeur des tuyaux n'en avait pas souffert.

Fig. 36

Fig. 36 et 37.— Déformations permanentes provoquées dans des tuyaux frettés en forçant la pression intérieure.

sur une soudure ; dans l'autre, c'est un anneau qui s'est rompu. Les déformations permanentes ont atteint des proportions stu-

importance sont exécutées à chaud, il est indispensable de les faire suivre par une nouvelle opération de recuit. (A suivre)

Je ne veux toutefois pas condamner le procédé du tournage des chemises, en usage chez certains constructeurs allemands. Je veux seulement affirmer, qu'avec un travail soigné, on peut s'en dispenser, économisant ainsi du matériel et de la peine.

JONCTIONS.

Les jonctions des divers éléments de montage sont préparées à l'usine. Si elles nécessitent le percement de trous sur les tôles, on ne les préparera qu'après l'épreuve hydraulique.

Quand les jonctions sont obtenues à l'aide de rivures, il devient très utile, ici encore, de percer du même coup les deux bords à river. On obtient ainsi, non seulement la coïncidence des trous, mais aussi la parfaite adaptation des deux éléments à réunir.

Il est toujours de bonne règle d'exiger du constructeur qu'il contrôle en atelier tous les joints avant l'expédition. Le montage en est grandement facilité ; on épargne du temps et de l'argent et on obtient aussi une meilleure facture. Quand les raccords comportent l'exécution, sur les lieux, de rivures transversales, il est bon que la partie inférieure de ces rivures soit constituée par des rivets à tête rase à l'intérieur du tuyau. On peut éviter ainsi l'exécution, sur les lieux, de la tête extérieure des rivets, exécution qui serait rendue très difficile par le peu d'espace régnant entre la conduite et le terrain.

ÉLÉMENTS DE FONDERIE.

Les pièces en acier moulé doivent également être soigneusement recuites avant d'être travaillées.

Les épreuves technologiques seront toujours exécutées après le recuit, et avant le travail en atelier, afin de pouvoir éventuellement exécuter un second traitement thermique. J'ai pu constater, à plus d'une occasion, que du matériel qui présentait des caractéristiques défectueuses après le premier recuit, devenait au contraire excellent après un nouveau traitement thermique dûment étudié et conduit.

Il faut, par contre, être très prudent avant d'autoriser des réparations sur des pièces qui se sont révélées défectueuses, surtout si on se trouve en présence d'épaisseurs importantes, comme c'est le cas dans les éléments moulés des collecteurs soumis à de fortes pressions. Les réparations, quand elles intéressent de grosses masses de matériel, ne donnent jamais la sécurité de la réussite. Naturellement, je parle ici de réparations qui sont exécutées sur de véritables lésions de la pièce. De toute façon, toutes les fois que les réparations d'une certaine