LA HOUILLE BLANCHE

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

Pour la Rédaction :	Abonnement	{ France 40 francs	Pour les Abonnements et Annonces :
S'adresser à M. P. PAGNON	pour une Année	{ Etranger 50 francs	S'adresser à M. B. ARTHAUD
Secrétaire Général	Le Numéro : 7 francs		Editeur
19, Boulevard Gambetta, 19	Compte Chèques Postaux LYON 5-84		23, Grande-Rue, 23
GRENOBLE			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.

ÉLECTRICITÉ. — Un bel exemple de coordination des transmissions d'énergie : L'Union des Producteurs d'Electricité des Pyrénées Occidentales, par L. BARBILLION, professeur à l'Université de Grenoble.

DOCUMENTATION. — Les installations électriques automatiques de la ligne d'Orléans à Tours du réseau de la Compagnie du chemin de fer de Paris à Orléans. Les rames automatiques rapides Diesel électriques de la Compagnie du Nord, etc.

LÉGISLATION. — Le mois Fiscal. — Le nouveau code des impôts sur les revenus (Principales dispositions intéressant l'industrie, le commerce et la propriété mobilière. — La réforme fiscale de l'impôt sur le revenu des capitaux mobiliers, par Roger et Jacques LEFEBVRE.

INFORMATIONS. — **BIBLIOGRAPHIE.**

HYDRAULIQUE

Problèmes constructifs relatifs aux conduites forcées et ouvrages accessoires⁽¹⁾

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

par Dr.-Ing. UMBERTO BONO

SOMMAIRE

I. — PROJET DE LA CONDUITE FORCÉE.

Divers types de conduites forcées.
Tracé du plan de pose.
Nombre des conduits constituant les conduites forcées.
Diamètres.
Distributeurs ou collecteurs.
Éléments constituant la conduite forcée.
Dispositifs de sûreté.
Dispositifs de fermeture.
Accessoires.
Appareils de mesure du débit.
Liaison de la tête amont des conduites avec les galeries maçonnées.
Qualité des matériaux.
Coefficients de travail.

II. — CONSTRUCTION DE LA CONDUITE FORCÉE.

Tuyaux rivés, soudés, frettés.
Jonctions.
Éléments de fonderie.
Ordre de construction.

III. — ESSAIS ET RÉCEPTIONS D'ATELIER.

Essais technologiques sur les matériaux.
Essais hydrauliques d'atelier.

IV. — MONTAGE.

Remarque préliminaire.
Préparation des moyens d'action.
Premières dispositions en vue du montage.
Exécution du montage.

V. — ESSAIS SUR L'OUVRAGE.

Essai statique.
Essais de surpression par tronçons.
Essais dynamiques.
Tarage des vannes automatiques.

VI. — CONDUITES DE DÉCHARGE.

Caractéristiques.
Tuyaux.
Amortisseurs.

(1) Rapport présenté le 10 Décembre 1931 à la Commission permanente d'étude pour les installations hydroélectriques et discuté le 23 Avril 1932 par la même Commission.

VII. — ENTRETIEN DES CONDUITES FORCÉES.

Peinture.
Entretien courant.

VIII. — CONDUITES ÉLASTIQUES DANS LE ROCHER.

Remarque préliminaire.
Caractéristiques et objectifs des conduites élastiques.
Forme des tuyaux.
Système de drainage.
Construction des tuyaux et essais d'atelier.
Montage.
Résultats d'expérience.

REMARQUE PRÉLIMINAIRE.

La Commission permanente pour l'étude des installations hydroélectriques, constituée au sein de la Section Technologique de l'Union Nationale Fasciste des Industries Electriques (UNFIEL), a voulu m'honorer, dans sa séance du 23 mai 1931, en me chargeant de rapporter sur l'objet visé en titre de la présente étude.

Un questionnaire fut adressé aux membres de la UNFIEL et les réponses reçues me furent communiquées par les soins de la Section Technologique. Ces réponses ont trait spécialement à la partie expérimentale et signalent surtout des cas particuliers qui ont été vérifiés dans quelques installations. Il est vraiment regrettable que ces réponses aient été si peu nombreuses, de sorte que beaucoup de cas particuliers et beaucoup d'inconvénients sont encore ignorés par la plupart des intéressés. De toutes façons, j'ai thésaurisé soigneusement tous les renseignements reçus, afin de pouvoir compléter les connaissances acquises par mon expérience personnelle dans de nombreuses installations réalisées.

Je crois opportun de profiter de la présente occasion pour traiter, avec une certaine ampleur, toutes les questions qui peuvent être l'objet de l'attention du projeteur et du constructeur, ou encore du surveillant d'une conduite forcée en exercice.

Pour traiter complètement le sujet, je devrai également répéter quelques développements qui ont déjà fait l'objet d'une autre de mes études, faite en octobre 1927 dans l'intention d'exposer un examen critique sur les « Règles pour la construction et la réception des conduites forcées métalliques pour chutes d'eau ».

Il ne me paraît pas opportun d'exposer des calculs dans le rapport présent ; je traiterai donc les différents sujets sous une forme générale ; en ce qui concerne les calculs, il convient de se reporter aux sources bien connues.

Pour plus de simplicité et de clarté, je diviserai l'objet de cette étude en sept chapitres principaux :

- 1) — Projet de la conduite forcée ;
- 2) — Construction ;
- 3) — Essais et réceptions à l'atelier ;
- 4) — Montage ;
- 5) — Essais sur l'ouvrage ;
- 6) — Conduites de décharge ;
- 7) — Entretien de la conduite forcée.

Enfin, dans un chapitre à part, je parlerai des conduites élastiques en puits, qui ont été récemment expérimentées dans trois grandes installations, et qui constituent une solution originale du problème consistant à conduire l'eau sous pression à la centrale.

Quant aux résultats d'expérience, j'en parlerai dans les divers chapitres, au fur et à mesure que se présenteront les objets qui ont donné lieu à des remarques intéressantes.

I. — PROJET DE LA CONDUITE FORCÉE

DIVERS TYPES DE CONDUITES FORCÉES.

On peut ramener les conduites forcées, construites jusqu'à présent, aux quatre types principaux suivants :

conduites forcées métalliques ;
conduites forcées en béton armé ;
conduites forcées en bois ;
conduites élastiques dans le rocher.

Je m'étendrai tout particulièrement sur les conduites forcées métalliques. Les conduites forcées en béton armé sont en très petit nombre, comparées aux conduites métalliques, et sont

Fig. 1. — Conduite forcée se développant presque entièrement sur la crête d'un éperon de la montagne.

limitées aux cas de gros débit et de faible chute. Je m'abstiendrai de parler de ces conduites spéciales, qui pourront par contre, être traitées avec beaucoup plus de compétence, et sur la base d'un plus grand nombre d'observations expérimentales, par d'autres rapporteurs qui ont été à même d'étudier à fond ces ouvrages.

Les conduites forcées en bois sont très rares chez nous. Leur usage est un peu plus répandu dans les pays nordiques et en Amérique, où abonde le bois convenable. D'ailleurs, on les réserve pour les faibles pressions, et là encore leur emploi est exceptionnel. Du moment qu'elles ne sont pas employées chez nous, j'estime inutile de les prendre en considération.

Des conduites élastiques dans le rocher, je parlerai, comme je l'ai précisé plus haut, dans un chapitre spécial.

Les conduites forcées métalliques représentent, pour l'Italie en tous cas, la presque totalité des conduites en exercice à l'usage des installations hydroélectriques. Je vais essayer de les examiner sous leurs divers aspects et de mettre en relief tout ce qui peut être utile de connaître à leur sujet dans l'étude d'une installation.

TRACÉ DU PLAN DE POSE.

La conduite forcée ne représente qu'une partie, souvent bien modeste, parfois importante, de l'installation hydro-électrique.

Sa situation n'est pas quelconque ; le plus souvent la position de la conduite forcée est obligée ; en tous cas, elle dépend tout à la fois du lieu où s'élèvera l'usine et du lieu où peut aboutir le canal d'adduction de l'eau.

Ces sujétions imposent quelquefois l'exécution de travaux très coûteux pour préparer un plan de pose convenable pour la conduite forcée.

Celle-ci peut : ou s'étaler complètement à ciel ouvert ; ou se trouver partiellement à ciel ouvert et partiellement en galerie ; ou bien encore être placée complètement en galerie ou en puits.

Pour les tronçons situés en galerie-libre ou en puits, le tracé est imposé par la configuration du terrain et il n'y a rien de particulier à signaler à ce sujet.

Dans les tronçons à ciel ouvert, il est tout indiqué de fixer le tracé avec toute la perspicacité désirable, afin de mettre la conduite forcée dans les meilleures conditions possibles de conservation.

On fera toujours bien d'éviter les petits ravins, les fossés, les pentes très inclinées avec tracé à mi-côte, les zones battues par les éboulis ou par les avalanches.

La condition parfaite est obtenue quand on peut placer la conduite forcée, en totalité ou en partie, sur la crête d'un éperon de la montagne. Dans une telle position, la conduite est préservée de tous les accidents qui peuvent être provoqués par les pluies et par les effets du gel et du dégel (voir fig. 1).

Dans une installation en fonction depuis quelques années, la conduite forcée court, sur un certain tronçon, au pied d'une côte très abrupte, et par surcroît, ce tronçon est en tranchée : durant un orage, la plateforme de la conduite forcée se transforma en un violent petit torrent, qui inonda l'usine et y apporta une quantité considérable de matériaux solides, provoquant l'interruption du fonctionnement pendant près d'un mois.

Le tracé de la conduite forcée étant choisi dans ses grandes lignes, il convient de fixer les sommets et les côtés de sa polygonale. Bien peu nombreuses sont les installations dans lesquelles il n'est pas nécessaire de procéder à des mouvements de terre ou de rocher. Bien rarement, surtout en haute mon-

tagne, on trouve un terrain de conformation suffisamment régulière qui puisse recevoir directement les appuis des tuyaux.

Dans la fixation du profil, le projeteur se préoccupe naturellement, par raisons d'économie, de réduire au minimum les déroctages et les mouvements de terre.

Toutefois, on ne peut pas aller jusqu'à suivre trop fidèlement la configuration du terrain. Le fractionnement du profil en de nombreux côtés de longueur limitée rend la conduite forcée sensiblement plus coûteuse, à cause du grand nombre de pièces spéciales que cela nécessite (coudes, joints de dilatation, ancrages, etc.). En outre, le rendement en est diminué, parce que les courbes et les joints de dilatation provoquent des pertes de charge localisées. C'est pourquoi il convient, autant que possible, de diminuer le nombre des coudes, même si cela oblige à faire quelques fouilles.

Il n'est pas même rationnel de tenir la conduite forcée trop élevée au-dessus du terrain. Dans ce cas, les socles d'appui deviennent hauts et il faut leur donner des dimensions sérieuses, si l'on veut éviter (comme il se doit) le danger de leur rupture sous les efforts tangentiels, non négligeables, que la conduite leur transmet en son point d'appui (voir fig. 2 et 3).

Fig. 2. — Conduite forcée dans de mauvaises conditions d'appui parce que trop élevée au-dessus du sol.

Quand les appuis atteignent une certaine hauteur, il faut aussi adopter des selles spéciales pour diminuer les efforts susdits. La condition idéale serait certainement d'avoir le tuyau courant au-dessus du terrain, à une hauteur variant du demi-mètre au mètre. Si des fouilles doivent être faites, on en limitera

la profondeur dans toute la mesure possible, mais il faut néanmoins se rappeler que, pour tenir compte des nécessités du

Fig. 3. — Appuis de type spécial vu la grande hauteur.

montage, il est bon que, sous le tuyau, il reste une hauteur libre d'au moins 40 centimètres.

Les remblais sont toujours gênants : avant tout, ils rendent le montage des tuyaux plus difficile et plus coûteux, surtout si les éléments sont lourds ; en outre, l'inspection en est rendue moins aisée, à moins de faire le remblai plus large que ne le demande la simple assiette de la conduite.

Fig. 4. — Exemple de centrale dangereusement située en cas d'accident à la conduite forcée.

Quand il est impossible d'éviter la traversée de zones battues par les éboulements et par les avalanches, il est de bonne règle d'enterrer la conduite forcée sur ces tronçons, ou bien de construire des ouvrages de protection du côté de la montagne, ou des dévaloirs sur les tuyaux, pour les avalanches. La conduite enterrée présente certains inconvénients par la plus grande possibilité de détérioration et par la plus grande difficulté d'inspection. En compensation, elle offre quelques avantages : dans les tronçons enterrés, on peut diminuer le nombre des ancrages et on peut adopter des joints plus économiques.

Une autre précaution à prendre, naturellement toujours dans les limites de la possibilité, est celle qui consiste à éviter les changements de direction trop marqués : la perte de charge a un certain rapport avec l'ouverture de l'angle de déviation

Fig. 5. — Exemple de centrale bien protégée contre les accidents de la conduite forcée.

Si, en outre, le changement de direction correspond au passage d'un alignement peu incliné à un autre fortement incliné (d'amont vers l'aval), on court le danger, en cas d'appel brusqué d'eau, aux machines, de provoquer la rupture de la veine liquide. Un tel cas peut être dangereux si les tuyaux sont à paroi mince, ces derniers courant le risque d'être aplatis. De toutes façons, c'est une cause de troubles dans le fonctionnement.

Il est de bonne règle, surtout si les derniers tronçons de la conduite ont une forte pente, et si la conduite court en tranchée, de tenir la centrale hors du plan vertical contenant ces derniers tronçons. En cas d'éclatement de tuyaux, cette précaution diminue considérablement le risque d'envahissement de la centrale par les eaux et par les matériaux solides qui sont entraînés par elles (voir fig. 4 et 5).

Durant ces dernières années, des ruptures de tuyaux se sont précisément produites et quelques centrales mal situées n'ont échappé à l'invasion que par miracle.

NOMBRE DES CONDUITS CONSTITUANT LA CONDUITE FORCÉE.

Le choix du nombre des conduits qui doivent constituer la conduite forcée est tout à la fois un problème économique et un problème technique. C'est un fait connu que, à égalité de débit total et de perte de charge, un seul conduit pèse, et partant coûte, notablement moins que deux ou trois conduits. D'autre part, si le nombre des conduits augmente, les déroctages et les mouvements de terre que nécessite la plateforme de pose augmentent aussi. Le coût de la plateforme augmente donc avec le nombre des conduits.

Ainsi, au point de vue économique, il est tout indiqué de réduire le nombre des conduits, au moins en ce qui concerne strictement la conduite forcée. Avec un débit et une hauteur de chute donnés, une fois la perte de charge calculée ou choisie dans les conditions les plus convenables par rapport au complexe

DIAMÈTRES.

Pour les conduites de petite longueur, inférieures par exemple à deux ou trois cents mètres, il n'y a pas lieu d'envisager plusieurs diamètres, à moins d'une nécessité constructive.

Quand, au contraire, les conduites atteignent une longueur importante, qui correspond presque toujours à une chute importante aussi, il devient alors très intéressant d'examiner la solution d'une série de diamètres variables, allant naturellement en diminuant de l'amont vers l'aval. Cette recherche a une influence sensible sur le poids, donc sur le prix de la conduite forcée. En premier lieu, comme il vient d'être dit, une succession bien étudiée de diamètres variables, à égalité de débit et de perte de charge, réduit notablement le poids de la conduite forcée par rapport au cas du diamètre constant. En second lieu, le diamètre inférieur, soit celui qui est soumis aux plus fortes pressions, se trouve diminué et il peut l'être de manière fort sensible. Cela peut évidemment aider à résoudre les difficultés constructives signalées plus haut.

De nombreuses études ont été faites sur les conduites à dia-

Fig. 6. — Collecteur en anneau pour 2 conduites et plusieurs machines.

général de l'installation, le diamètre de la conduite unique, ou des conduits multiples, ressort complètement déterminé. C'est alors que peut surgir le problème constructif. Tant que les débits et les hauteurs de chute demeurent limités, des préoccupations constructives ne sauraient exister. Mais quand on a affaire à des chutes considérables accompagnées de forts débits, on arrive souvent à des diamètres ou des épaisseurs de tuyaux incompatibles avec les possibilités actuelles de la construction (même en recourant aux tuyaux frettés ou aux tuyaux laminés, qui sont ceux, aujourd'hui, qui permettent d'obtenir les plus fortes résistances aux efforts provoqués par la pression), ou bien encore incompatibles avec les conditions de transport. Dans un tel cas, la seule solution possible consiste à augmenter le nombre des conduits, ce qui permettra d'obtenir des diamètres et des épaisseurs diminués en conséquence.

De ce qui précède résulte que, lors de la détermination de la perte de charge la plus convenable, il faut tenir compte du coût de la conduite forcée.

Traitant plus loin des divers types de tuyaux, nous reprendrons à ce moment la question des limites constructives.

mètres variables et plusieurs notes ont été publiées sur la question. Dans certains cas, le problème a été résolu seulement en partie, sur la base d'hypothèses simplificatrices ; dans d'autres, l'analyse a été poussée plus à fond. J'ai également étudié ce problème, et je l'ai résolu en tenant compte, non seulement du développement altimétrique du profil de l'axe de la conduite, mais encore de la discontinuité de distribution des épaisseurs de tôle qui sont imposées par des raisons constructives. Il est facile de démontrer qu'en adoptant le diamètre variable, on obtient pratiquement une économie de poids supérieure à 5 % vis-à-vis de la conduite à diamètre constant de mêmes caractéristiques (débit, perte de charge, coefficients de travail des matériaux, nombre des accessoires, etc.).

Il n'y a pas de règle fixe pour la recherche, soit du nombre des diamètres constituant la série, soit de la longueur des tronçons à diamètres constants. En augmentant le nombre des diamètres, on augmente l'économie sur le poids, mais pas toutefois en proportion arithmétique. Passé une certaine limite, l'économie, quoique réelle encore, est presque insensible. De plus, en augmentant exagérément le nombre des diamètres,

on augmente le coût de la conduite, parce que l'on rend nécessaire un plus grand nombre de pièces spéciales, et on complique les opérations de préparation et de tracé des tôles que doit exécuter le constructeur. Dans ce cas, on se laissera guider par la pratique de la construction.

Cependant, dans le choix des diamètres, on ne doit pas regarder seulement à la perte de charge et à l'économie, mais on doit encore faire attention à la vitesse que l'eau acquiert dans la conduite, spécialement dans les tronçons inférieurs à petit diamètre. On sait en effet que l'intensité du coup de bélier dépend de la vitesse de l'eau et du temps de fermeture des obturateurs des machines. Il existe donc des limites supérieures pour la vitesse. Durant ces dernières années, on a construit des conduites forcées où l'on a fait preuve de hardiesse, eu égard à la vitesse de l'eau. On a dépassé les 7 mètres à la seconde. Je n'entends pas, par là, condamner ces solutions, d'autant plus qu'une est mon œuvre ; je veux seulement dire que, tant que cela est possible, il est bon de se tenir au-dessous de ces limites.

En ce qui concerne le coup de bélier, le projeteur doit se préoccuper de vérifier la sécurité, non seulement des tronçons

doit être isolée. Il faut donc étudier un système de sectionnement qui permette d'alimenter les diverses machines avec les diverses conduites, et de pouvoir exclure une machine ou une conduite sans interrompre la marche du reste de l'installation. Cet objectif s'obtient avec une distribution bien étudiée des appareils de fermeture. Toutefois, ceux-ci sont généralement très coûteux. Dans certains cas, il est possible de réaliser une notable économie en remplaçant les appareils de fermeture proprement dits par des joints de démontage, avec des boulons de fermeture à appliquer au moment opportun. Cette solution est moins coûteuse, mais elle rend nécessairement plus longue l'opération du sectionnement (voir fig. 6, 7 et 8).

Dans l'étude des collecteurs et des distributeurs, il faut aussi chercher à réduire au minimum les efforts qui viennent solliciter les attaches aux machines, par suite des déformations de caractère élastique, ou de caractère thermique, des collecteurs eux-mêmes. La rupture de l'attache à une machine pourrait provoquer des dommages incalculables.

Sur ce point, on ne peut pas donner de règles précises ; le problème est à étudier dans chaque cas (voir fig. 9).

Fig. 7. — Autre type de collecteur pour 4 machines alimentées par 3 conduites.

inférieurs de la conduite forcée, mais aussi des tronçons supérieurs, vu que dans de nombreux cas, même si la fermeture des obturateurs est lente, c'est dans les parties hautes de la conduite, et non au bas, qu'on a les plus grandes fatigues. Cela dépend de l'allure du profil de l'axe de la conduite.

DISTRIBUTEURS OU COLLECTEURS.

C'est aussi un problème important que celui de la distribution aux machines de l'eau amenée par la conduite forcée. La meilleure solution consisterait à avoir une conduite pour chaque machine. Cela donnerait le maximum d'élasticité et d'indépendance dans le fonctionnement, mais cette solution est très rare. Presque toujours, le nombre des machines est différent de celui des conduites. Alors s'impose l'étude de la distribution. Les collecteurs sont de diverses formes. Dans une telle étude, le projeteur doit se préoccuper, autant que cela est possible, de rendre indépendantes les diverses machines et les diverses conduites, dans le but de réduire au minimum les interruptions de service quand une machine ou une conduite

ÉLÉMENTS CONSTITUANT LA CONDUITE FORCÉE.

J'écarte tout de suite du sujet les tuyaux de fonte, pour les raisons que j'avancerai dans le paragraphe sur le choix des matériaux.

Les éléments d'une conduite forcée peuvent être constitués par :

des tuyaux rivés ; des tuyaux soudés ; des tuyaux jrellés ; des tuyaux sans soudure.

Je parlerai séparément de ces divers types de tuyaux.

Tuyaux rivés.

C'est le type le plus ancien des tuyaux en tôle et qui fut largement employé jusqu'à ces dernières années. Il est maintenant un peu abandonné.

Au point de vue de la résistance, il est sans conteste un type excellent, surtout si on observe toutes les règles voulues dans l'exécution des rivures (on parlera plus loin de la construction proprement dite). Sa construction est relativement facile,

pourvu que l'on dispose de l'outillage convenable, et les bons constructeurs de ce type sont nombreux. Sa construction n'exige pas de traitements thermiques, et cela, ajouté à d'autres raisons, l'a fait préférer jusqu'à présent, particulièrement pour les grands diamètres avec faibles chutes, parce qu'il évite l'emploi de fours de recuit, énormes et coûteux. Il se prête aussi à la préparation dans l'atelier du constructeur, avec assemblage sur les lieux, rendant ainsi possible le transport par chemin de fer, alors que cela serait impossible avec les tuyaux finis, vu leur encombrement. Aussi, encore aujourd'hui, il doit être préféré pour les éléments de très grandes dimensions. Dans

Fig. 8. — Exemple de collecteur rivé, présentant de notables difficultés de construction. Le collecteur est encore incomplet, une troisième conduite étant prévue. Diamètre intérieur des deux tronçons principaux : mm 2600, diamètre des 6 dérivationes obliques à 60° et des deux à 90° : mm 1900, épaisseur des parois jusqu'à 35 mm avec renforcement par plaques intérieures.

ce cas d'ailleurs, quelques-uns de ses défauts diminuent d'importance.

Jusqu'à ces dernières années, vu le prix élevé du charbon nécessaire pour la production du gaz à l'eau, et également pour d'autres circonstances, le tuyau rivé faisait une sérieuse concurrence, au point de vue prix, au tuyau soudé. Aujourd'hui,

les choses sont un peu changées. Par contre, le tuyau rivé présente aussi des inconvénients.

Tout d'abord, à égalité de diamètre et de résistance, le tuyau rivé est plus lourd que le tuyau soudé équivalent. Cela résulte naturellement, du fait que la section résistante du tuyau rivé est calculée suivant la ligne de la rivure. Les trous des rivets viennent donc diminuer cette section. D'autre part, des raisons constructives obligent à constituer une tuyauterie rivée par des éléments beaucoup plus courts que ceux d'une tuyauterie soudée. Normalement, une virole rivée ne dépasse pas deux mètres de longueur, alors qu'une virole soudée atteint facilement 6 mètres. Le raccordement des tuyaux rivés présente aussi un inconvénient. Habituellement, les viroles rivées s'emboîtent les unes dans les autres comme les éléments d'un tube de lunette et cela provoque de fréquentes variations oscillatoires du diamètre intérieur de la conduite forcée. Il en résulte une perte de charge qu'on ne retrouve pas dans la conduite soudée. Cette perte de charge est d'ailleurs augmentée par la présence des nombreux petits obstacles constitués par les têtes de rivets, qui tapissent la paroi intérieure de la conduite rivée de leurs séries longitudinales et transversales.

En outre, comme cela arrive souvent, l'eau circulant dans les conduites contient du sable, et les ressauts de diamètre

Fig. 9. — Exemple de distribution dans laquelle, vu la notable longueur des dérivationes aux machines, les efforts sur les attaches à ces dernières, sous l'action des déformations du tronçon principal, sont quelque peu atténués.

provoqués par les épaisseurs des tôles et par les têtes des rivets sont autant de causes qui activent le frottement du sable, donc l'usure du métal.

Un cas typique, que j'ai eu l'occasion de vérifier personnellement, a été signalé par un des membres de la UNFIEL. Dans la partie inférieure des tuyaux d'une conduite rivée, de 1700 mm. de diamètre, on a relevé les effets d'usure suivants : le chanfrein des tôles, primitivement taillé net à 2 centimètres des têtes de rivets, était rongé au point de se raccorder en courbe adoucie avec ces têtes de rivets. Ces dernières étaient elles-mêmes usées au point d'avoir perdu les deux tiers de leur volume, et on relevait de véritables sillons d'usure dans la tôle, entre deux têtes successives de rivets. Au droit d'un coude brusque, marqué en profil et en plan, l'usure s'était étendue jusqu'aux rivures longitudinales placées à la hauteur de l'axe du tuyau. En ce point, le sable était donc projeté avec force contre la paroi extérieure. Malgré ces phénomènes d'usure, les rivures se sont révélées encore suffisamment efficaces.

Pour éviter cet inconvénient, ou tout au moins pour l'atténuer fortement, il est de bonne règle d'exécuter la moitié inférieure de toutes les rivures transversales avec des rivets

à tête noyée. Cette précaution, qui par ailleurs facilite l'exécution des rivures lors du montage, est actuellement adoptée par presque tous les bons constructeurs.

Le grand nombre de rivets, dans une conduite rivée, est une cause fréquente de petites pertes d'eau.

J'ai noté que, très fréquemment, ces pertes provoquent des corrosions autour du petit trou de sortie. Il faut alors mater ces points de fuites, puis nettoyer soigneusement la tôle et la peindre.

Dans les rivures, la longueur du rivet dépend évidemment des épaisseurs de tôle. On fixe le diamètre des rivets en correspondance avec l'épaisseur minimum des deux tôles. On sait toutefois que l'efficacité de la rivure diminue avec l'augmentation du diamètre et de la longueur du rivet. En outre, pour les rivures qui sont exécutées directement sur l'ouvrage, plus le diamètre des rivets est grand et plus grandes aussi sont les difficultés pratiques d'exécution. Il ne convient donc pas de pousser au delà de certaines limites les épaisseurs des tôles à river.

D'une façon générale, je retiens qu'il n'est pas prudent de dépasser 30, ou au maximum 32 mm., dans les épaisseurs des tuyaux rivés.

Tuyaux soudés.

Les tôles peuvent être soudées de trois façons différentes :

- par soudure oxyacétylénique ;
- par soudure au gaz à l'eau ;
- par soudure électrique.

La soudure oxyacétylénique n'est utilisée que pour les très petites épaisseurs, 6 mm. au maximum ; au delà de cette limite, elle est absolument à déconseiller.

Cette soudure n'a donc qu'une importance tout à fait minime dans la construction des conduites forcées. De plus, c'est une soudure qui conserve un caractère de grande fragilité, et il semble d'autre part que le recuit ne lui apporte pas une grande amélioration. Ce type de soudure peut par contre, être employé avec profit dans la construction de certains accessoires des conduites forcées. Si, dans une conduite forcée, on devait employer des tuyaux de l'épaisseur de 5 ou 6 mm., épaisseurs pour lesquelles la soudure au gaz à l'eau est très difficile, je conseillerais toujours d'adopter les tuyaux rivés plutôt que les tuyaux soudés à la flamme oxydrique.

La soudure électrique est d'adoption récente. Elle n'a pas encore été expérimentée suffisamment pour permettre d'avancer un jugement définitif en ce qui concerne les conduites forcées. C'est assurément un système de soudure qui a de bonnes qualités et qui s'est révélé très pratique dans certains types particuliers de constructions métalliques.

On a déjà essayé de construire des conduites forcées en soudant les tôles directement en place au moyen de soudures électriques. Le système a donné lieu à de notables inconvénients. Cela, cependant, n'est pas suffisant pour exclure la possibilité de voir, à l'avenir, ce type de soudure s'affirmer même pour les conduites forcées.

Ce qui, par contre, est certain, c'est que la soudure électrique se prête très bien aux opérations de réparation, tout particulièrement quand les réparations doivent être exécutées sur des pièces coulées.

Le type de soudure qui, pour l'heure, domine dans le champ des conduites forcées, est celui *au gaz à l'eau*.

Jusqu'à ces dernières années, les tuyaux soudés au gaz à

l'eau avaient beaucoup de détracteurs. Maintenant, au contraire, ils sont d'un usage courant, et ils sont largement représentés dans les nouvelles constructions. Cela est dû aux progrès considérables qu'a fait le procédé de soudure au gaz à l'eau et à la passion avec laquelle quelques constructeurs, entre autres italiens, ont étudié ce procédé, en le portant à un très haut degré de perfection.

L'exécution d'une bonne soudure est une opération certainement beaucoup plus difficile que l'exécution d'une bonne rivure. La soudure exige en effet un contrôle serré des matériaux employés, ainsi qu'une préparation soignée des bords à souder. Il y a ensuite une conduite thermique à observer. Ce type de soudure exige d'ailleurs l'opération du recuit, elle-même pas très aisée.

Pour bien exécuter ces soudures, il faut d'autre part un outillage spécial et coûteux, que tous les ateliers ne possèdent pas, hélas, avec tout le degré de perfection désirable. Il en résulte, pour le projeteur, un devoir spécial, celui d'examiner avec soin si les possibilités du constructeur correspondent bien au travail qui lui est confié.

Actuellement, on construit des tuyaux soudés qui donnent toute confiance au point de vue de la sécurité des soudures. D'une façon générale, le tuyau soudé fait une concurrence victorieuse au tuyau rivé, grâce aux avantages importants qu'il présente sur ce dernier.

A égalité de diamètre et de pression, même en tenant compte d'une prudente réduction du coefficient de travail pour la soudure, le tuyau soudé a toujours des épaisseurs inférieures à celles du tuyau rivé, et par suite, comme on l'a déjà dit, il pèse moins.

Si on veut encore considérer qu'un élément soudé peut être construit très facilement avec une longueur de 6 mètres, alors que pour obtenir une pareille longueur, avec des éléments rivés, il faut au moins trois viroles, entraînant la présence de deux joints transversaux supplémentaires, la différence en poids devient encore plus marquée.

Prenons un exemple, en nous référant aux coefficients de travail fixés par les « Normes » qui ont été en vigueur jusqu'à maintenant : un tuyau rivé, de diamètre intérieur minimum de 1.000 mm., de l'épaisseur de 12 mm., avec double rivure longitudinale, peut supporter une charge hydrostatique de m. 152,60. Un tuyau soudé, également de 1.000 mm. de diamètre et de 12 mm. d'épaisseur, peut supporter une charge hydrostatique de m. 186. Pour atteindre la même charge avec un tuyau rivé, il faut adopter un tuyau avec rivure longitudinale triple à recouvrement et épaisseur de 14 mm. Sa résistance pourrait aller jusqu'à la charge hydrostatique de m. 190,50. Or, un tuyau soudé de 1.000 mm. de diamètre et de 12 mm. d'épaisseur, avec joint transversal à emboîtement conique rivé à rivure simple, long de six mètres, pèse environ kg 311 au mètre courant. Par contre, un tuyau rivé avec rivure longitudinale triple à recouvrement et rivure transversale simple, de 1000 mm. de diamètre et de 14 mm. d'épaisseur, qui peut être installé à la place du précédent, pèse environ kg 414 au mètre courant. Cela fait environ 100 kg de plus par mètre courant, c'est-à-dire le 35 % en plus du poids du tuyau soudé. On peut remarquer que j'ai fait cette comparaison sur de petites épaisseurs ; la différence augmente avec les épaisseurs.

Les joints transversaux habituellement adoptés pour relier entre eux les tuyaux soudés (emboîtements coniques rivés, manchons rivés) sont beaucoup plus avantageux que ceux des tuyaux rivés, et cela, indépendamment du fait qu'ils sont trois fois moins nombreux.

Comme cela a déjà été dit précédemment, le tuyau soudé

offre l'avantage d'une perte de charge notablement inférieure à celle du tuyau rivé.

Cependant, pour la bonne réussite des soudures, il faut faire attention aux épaisseurs qui sont à souder : la soudure au gaz à l'eau n'est pas recommandable pour les petites épaisseurs. Je ne descendrais jamais au-dessous de 7 mm. ; la sécurité complète de la réussite ne peut s'obtenir qu'à partir de 10 mm. Naturellement, je me réfère ici à des soudures qui sont appelées à résister à des efforts proportionnés aux épaisseurs : je n'envisage pas, par exemple, les tuyaux d'acqueduc, dont l'épaisseur n'est pas toujours fixée en raison de la pression, mais plutôt en raison de considérations relatives à la conservation.

Pour les épaisseurs très petites, la conduite thermique de l'opération de soudure est très difficile. Si les ouvriers n'ont pas la grande habileté nécessaire, on court le danger de brûler la matière et d'obtenir des soudures moins efficaces.

Il existe aussi une limite supérieure pour les épaisseurs, qu'il est prudent de ne pas dépasser. A ce propos, je dirai que, dans ces dernières années, les meilleurs constructeurs ont fait des progrès énormes. J'ai eu récemment l'occasion de voir des tuyaux soudés à recouvrement, avec des épaisseurs de tôle dépassant notablement 40 mm. Les soudures paraissaient parfaitement réussies et l'épreuve hydraulique a confirmé leur valeur. Ceci, pourtant, ne veut pas dire qu'avec les tuyaux soudés on puisse se permettre des limites d'épaisseur de ce genre. La chose est différente pour les tuyaux frettés, comme je le dirai plus loin.

Je crois qu'il est de bonne règle, pour les tuyaux soudés, de s'arrêter vers 30 mm. d'épaisseur. Jusqu'à cette limite, la soudure pure et simple est plus que suffisante pour donner toute sécurité au point de vue résistance.

Je conclus en affirmant que le tuyau soudé, avec le temps, supplantera presque totalement le tuyau rivé.

Tuyaux frettés.

Jusqu'à maintenant, je connais deux types de tuyaux frettés : le type courant, avec chemise soudée cylindrique et anneaux de fretage, et le type « multionde » construit en France.

Ce second type a fait l'objet d'une note du constructeur (Bouchayer) dans la Revue française *La Houille Blanche*, mais je ne sais pas s'il a déjà été appliqué dans quelques installations. Il serait, paraît-il, prochainement expérimenté dans une installation très importante. Pour ce type, j'invite donc à se référer à la publication du constructeur, estimant, en l'absence d'une expérience pratique, qu'il est encore risqué de porter un jugement à son sujet.

L'autre type, que j'appelle type courant, a au contraire été expérimenté depuis de nombreuses années ; il a donné d'excellents résultats et il a permis de résoudre brillamment le problème des très hautes chutes.

Il consiste essentiellement en une chemise exécutée avec des tôles soudées au gaz à l'eau (ce n'est donc pas autre chose qu'un tuyau ordinaire soudé), sur laquelle sont appliqués, à des intervalles choisis, des anneaux de fretage en acier. Quand le tuyau est vide, les anneaux exercent une certaine compression sur la tôle de la chemise ; on en conclut que, lors de la mise en charge, la chemise et les anneaux sont soumis à des taux de travail différents.

Le calcul du tuyau fretté consiste précisément, et avant tout, dans la détermination de l'écartement le plus rationnel des frettes, ainsi que dans la détermination du rapport entre les taux de travail de la chemise et des frettes, sur la base des

caractéristiques technologiques des matériaux employés pour les deux éléments.

Le tuyau fretté représente naturellement un progrès sur le tuyau soudé. Les anneaux, en effet, et cela est la condition essentielle, sont obtenus en une seule pièce, sans soudure. Nous avons là en définitive un plus grand coefficient de sécurité, qui résulte aussi du fait que, pour les anneaux, comme la sujétion de la soudabilité n'existe plus, il est loisible d'employer des aciers à limite d'élasticité et à charge de rupture plus élevées.

Avec des tuyaux frettés, et avec des diamètres de l'ordre d'un mètre, on a déjà dépassé les 1000 mètres de chute, dans des installations en fonction. On ira certainement beaucoup plus loin ; des expériences ont été faites pour des chutes presque doubles. Naturellement, les chemises et les anneaux prennent alors des dimensions considérables. Je crois qu'avec l'augmentation des sections de ces tuyaux, il sera opportun de modifier légèrement les règles actuelles, soit en matière de répartition du matériel entre chemise et anneaux, soit en matière de construction.

Si, par exemple, le tuyau n'est sollicité que par de petits efforts dans la direction axiale, on pourra avantageusement diminuer la section de la chemise et augmenter par contre, de manière équivalente, la section des anneaux, en les faisant au besoin plus rapprochés. Il faudra, en outre, apporter le plus grand soin pour obtenir la parfaite adhérence des anneaux sur la chemise, sur tout le développement de celle-ci, afin de réaliser une répartition absolument uniforme de l'effort de compression que l'anneau exerce sur la chemise.

En ce qui concerne la perte de charge, le tuyau fretté se comporte d'une façon entièrement analogue au tuyau soudé. Les joints transversaux sont également à peu près les mêmes, exception faite cependant pour la jonction à emboîtement conique, qui ne saurait être réalisée avec les tuyaux frettés. Avec ces derniers, les joints transversaux habituellement employés sont ceux à manchons rivés et à brides, qui constituent tous deux des types de jonction excellents.

Tuyaux sans soudure.

Ils sont de deux espèces :

le tuyau Mannesmann proprement dit et

le tuyau laminé de grand diamètre, qui se fabrique actuellement en Allemagne.

Sans conteste, ce sont des tuyaux excellents. L'absence de soudure permet de pousser plus haut, avec sécurité, les coefficients de travail. Ils ont certainement tous les avantages des tuyaux frettés.

Les tuyaux fabriqués suivant le procédé Mannesmann peuvent aller jusqu'à des diamètres, si je ne fais erreur, de 550, ou au maximum 600 mm.

Les autres peuvent atteindre des diamètres notablement plus grands ; leurs dimensions sont toutefois limitées par le poids des grosses masses de métal incandescent que leur construction nécessite.

Raccords transversaux des tuyaux.

Je crois utile de dire aussi quelques mots sur les jonctions des tuyaux, qui ont beaucoup d'importance.

Les raccords que l'on rencontre habituellement sont les suivants : à emboîtement télescopique ; à emboîtement conique rivé ; à manchon rivé ; en tulipe, avec garniture de plonib intérieure

ou extérieure ; à brides du type fixe ou mobile (voir fig. 10, 11, 12, 13, 14). Il existe encore d'autres types spéciaux, qu'il me semble inutile de mentionner ici, vu leur usage très limité.

Les raccords à simple emboîtement rivé sont caractéristiques des tuyaux rivés ; ils sont excellents, comme résistance, mais ils influent notablement sur la perte de charge.

Fig. 10. — Raccord à emboîtement cône rivé : rivure double.

Les raccords à emboîtement conique rivé, caractéristiques des tuyaux soudés, sont bien meilleurs que les précédents parce que, si la forme de l'emboîtement est bien étudiée, les têtes des rivets sont toutes dissimulées dans la niche de l'en-

Fig. 11. — Raccord à manchon avec double emboîtement cône et double rivure.

tonnoir, et ainsi elles influent beaucoup moins sur la perte de charge.

Les raccords à manchon rivé sont certainement parmi les meilleurs ; ils résistent bien aussi aux grands efforts axiaux, et si l'on prend quelques précautions appropriées, ils sont

Fig. 12. — Raccord à brides fixes.

également bons au point de vue de la perte de charge. On les utilise surtout pour les tuyaux soudés de forte épaisseur et pour les tuyaux frettés.

Les raccords en forme de tulipe, avec garniture et plombage exécutés de l'extérieur, sont caractéristiques des aqueducs et des tuyauteries enterrées de petit diamètre.

Ceux, avec application de la garniture et du plombage de l'intérieur, sont de grande utilité dans les conduites en puits qui sont maçonnées, et qui deviennent ainsi inaccessibles par l'extérieur. Ces raccords annulent complètement les efforts de tension dans le sens axial, car ils fonctionnent comme autant

Fig. 13. — Raccord à brides mobiles.

de joints de dilatation ; ils rendent le montage très facile et très rapide, et s'ils sont bien exécutés, ils assurent une tenue parfaite. Dans une installation construite très récemment, et constituée par des tuyaux d'un diamètre variant de 2000 mm. à 1620 $\frac{m}{m}$, avec des pressions atteignant 76 atm, tous les raccords normaux (environ 230) sont de ce type. Aux épreuves, un seul raccord (soumis à une charge d'environ 10 atm) a laissé perdre quelques gouttes d'eau ; tous les autres sont demeurés

Fig. 14. — Joint à tulipe garni de plomb de l'intérieur de la conduite.

parfaitement étanches. A mon avis, pour les conduites en puits, soudées ou frettées, ce type de raccord est le meilleur, et tous comptes faits, il est aussi le plus économique. La réfection d'une garniture est une question d'heures et c'est une opération très facile.

Les raccords à brides sont trop connus pour que nous ayons besoin de nous étendre à leur sujet. Ils sont particulièrement utiles dans les collecteurs, à cause des grands efforts axiaux et des démontages rapides qu'ils nécessitent parfois. Le type à brides mobiles permet en outre de faire tourner le tuyau autour de son axe, jusqu'à lui faire prendre la direction voulue. Ces raccords représentent toutefois le type de jonction le plus coûteux.

Eléments de fonderie.

Avant de terminer l'examen des éléments constitutifs de la conduite forcée, il convient de dire quelques mots des pièces obtenues par moulage.

Ces pièces sont généralement en acier, et elles trouvent leur emploi le plus indiqué dans les conduites frettées et dans les collecteurs et distributeurs (voir fig. 6 et 7).

Dans les conduites frettées, tous les coudes sont en acier coulé, parce qu'il est impossible de fretter des éléments courbes. Dans les premières installations frettées, on faisait encore en acier coulé certains éléments spéciaux portant les trous d'homme. On tend actuellement à supprimer ces trous d'homme, et ce sont les joints de dilatation qui en tiennent lieu, à condition toutefois que ces joints existent. Il faut alors munir le bout mâle d'un assemblage à boulons. En enlevant ces boulons et en enfilant le tuyau mâle dans le tuyau femelle, on obtient un accès facile à l'intérieur de la conduite.

Dans les collecteurs et distributeurs, les pièces en acier coulé servent surtout pour les éléments de subdivision ou de dérivation. Dans l'étude de leur forme, il est indiqué de tenir compte,

la cheminée d'équilibre, si elle existe, et l'appareil de fermeture automatique en cas d'excès de vitesse de l'eau.

Une grille fine, à l'entrée de la conduite forcée, est toujours à conseiller ; elle devient indispensable quand l'eau arrive au bassin de mise en charge par un canal à ciel ouvert. Les corps solides, flottants, ou entraînés d'une façon quelconque par l'eau, peuvent provoquer des dommages ou des dérangements importants aux machines, soit en produisant véritablement des dommages dans les distributeurs ou dans les aubes des turbines, soit, spécialement en cas de marche à charge réduite, en s'encastrant dans les distributeurs, empêchant ainsi leur fermeture complète. Dans l'étude des grilles, il faut se souvenir qu'elles doivent être nettoyées fréquemment et avec facilité.

Les cheminées d'équilibre font l'objet d'une autre étude. Je rappellerai seulement ici leur fonction (voir fig. 16 et 17).

Quand l'eau arrive à l'entrée de la conduite forcée par de longues conduites, ou de longues galeries sous pression, l'établissement d'une cheminée d'équilibre s'impose entre l'extrémité de ce canal adducteur et la tête de la conduite forcée. Ses fonc-

Fig. 15. — Type de collecteur avec dérivations obliques favorisant le mouvement de l'eau.

autant que possible, de l'allure des filets liquides. En particulier, il est opportun de faire partir les dérivations en oblique sur le tuyau principal, et non à angle droit (1). Les dérivations à corps sphérique provoquent quelquefois des mouvements d'eau en spirale dans le tuyau dérivé, et il en résulte une chute du rendement de la machine, surtout si celle-ci est une Pelton. Quelques constructeurs de turbine ne veulent absolument pas de dérivations à corps sphérique sur le collecteur, ou encore ils exigent que, dans le tuyau de dérivation, entre la sphère et la machine, on fixe deux diaphragmes diamétraux destinés à rompre le mouvement en spirale de l'eau.

Tous ces éléments de fonderie ont des raccords à brides.

Tout autre type de jonction est à déconseiller. Ces éléments sont toujours très lourds et coûteux ; il convient donc d'en limiter l'emploi dans toute la mesure possible.

DISPOSITIFS DE SURETÉ.

On peut considérer comme dispositifs de sûreté : la grille,

tions sont multiples ; je rappellerai seulement que la cheminée d'équilibre soustrait au phénomène du coup de bélier toute la conduite ou la galerie d'amenée placée à l'amont. Son action a pour effet de transformer le choc brutal de l'eau en une lente augmentation de la pression, ce qui enlève au coup de bélier proprement dit son caractère le plus dangereux. Elle sert encore à diminuer les dépressions causées dans le canal d'amenée par un brusque appel d'eau aux machines. Elle permet en effet, par les oscillations de son plan d'eau, d'assurer immédiatement le supplément d'alimentation, en attendant que le canal se mette au nouveau régime.

Les appareils automatiques de fermeture pour excès de vitesse de l'eau sont maintenant d'un usage courant, et sont adoptés dans toutes les installations modernes. On peut dire que tout type d'organe de fermeture pourrait être adapté à cet usage (fig. 19). C'est cependant le type avec vanne à papillon qui est le plus généralement employé (fig. 16, 17 et 18).

A l'intérieur de la conduite forcée, en amont ou en aval de l'appareil de fermeture (de préférence en amont) et dans son voisinage immédiat, est placée une palette, généralement cir-

(1) Comparer la figure 15 avec les fig. 6 et 7.

culaire, offrant sa face à l'action de l'eau en mouvement. Le bras de la palette, par l'intermédiaire d'un système de leviers, transmet la poussée de l'eau sur la palette au mécanisme commandant l'organe de fermeture. Ce dernier a pour tendance de se fermer sous l'action d'un contrepoids ou d'un autre dispositif équivalent, mais il demeure bloqué dans la position d'ouver-

très limitées, vu qu'il ne pourra guère s'échapper plus d'eau que celle de la conduite comprise entre le point de rupture et l'organe de fermeture.

Ces appareils doivent être réglables, de telle façon que l'on puisse choisir, entre certaines limites, la vitesse de l'eau qui les déclenchera et provoquera la fermeture. Dans ce réglage, il faut prendre en considération que les appareils doivent permettre, sans se déclencher, le passage de l'eau suivant tous les débits qui peuvent être utilisés par les turbines jusqu'à leur pleine charge. Il est même très opportun de laisser encore une marge au delà de la pleine charge de toutes les machines alimentées par la conduite, autrement on court le risque de provoquer des interruptions de fonctionnement toutes les fois que les machines sont légèrement surchargées. En effet, vu la nature même et la situation des appareils, il est impossible d'exiger une précision absolue et constante sur le point de la courbe des vitesses choisi pour leur intervention. Ils doivent intervenir seulement quand une cause de nature absolument exceptionnelle provoque de notables augmentations de la vitesse de l'eau, vis-à-vis de celle nécessaire à l'alimentation des turbines. Le réglage de ces appareils doit être basé sur un débit de vingt ou trente pour cent supérieur à celui de la charge maximum des machines servies.

La fermeture des appareils doit encore s'accomplir avec une certaine lenteur relative pour éviter, soit de trop considérables coups de bélier en amont, soit des élévations excessives du plan d'eau dans la cheminée d'équilibre, si celle-ci existe. Il faut donc que le mécanisme de commande de ces appareils soit encore muni d'un frein, également réglable.

En règle générale, on adopte, comme durée du temps de fermeture, un espace d'environ 30 secondes. Des circonstances particulières peuvent ensuite inciter à l'augmentation ou à la diminution de ce temps.

Il existe encore un autre organe qui doit toujours accompagner l'appareil à fermeture automatique : c'est l'organe d'entrée et de sortie de l'air. On le réalise soit sous la forme d'un tuyau d'aspiration (reniflard), soit sous la forme d'une ventouse. Les appareils de fermeture automatique sont toujours placés à la tête amont de la conduite (c'est-à-dire au point où le diamètre est maximum et l'épaisseur minimum). C'est pour cela que dans la très grande majorité des cas, l'absence de l'appareil de rentrée de l'air provoquerait l'aplatissement de la conduite à l'aval de l'appareil automatique (voir fig. 16, 17, 18 et 19).

Ces dispositifs de rentrée d'air doivent avoir des proportions suffisantes pour éviter les dépressions intérieures. On doit encore faire attention, en ce qui les concerne, à un autre accident possible. Qu'il s'agisse de tuyaux ou de ventouses, il y a toujours en eux de petites masses d'eau immobile. Comme ils sont placés au point le plus haut de l'installation, c'est-à-dire généralement à des altitudes très élevées, cette eau immobile court le danger de la congélation. Sans même vouloir prendre en considération les ruptures que la congélation peut provoquer, le fait demeure que, si cette eau gèle, ou bien elle forme un gros tampon dans le reniflard qui empêche le passage de l'air, ou bien elle bloque l'organe qui ouvre

Fig. 16. — Cheminée d'équilibre et tête de la conduite forcée. Le dessin montre : 1) La décharge de fond du puits ; 2) la grille à l'entrée de la conduite forcée ; 3) le treuil pour la manœuvre de rabatement et de nettoyage de la grille ; 4) les deux vannes à papillon, dont une à fonctionnement automatique ; 4) la ventouse de sortie et de rentrée d'air.

ture par un frein spécial. Quand la vitesse de l'eau dépasse une certaine limite fixée d'avance, la poussée hydrodynamique qui s'exerce sur la palette arrive à vaincre la résistance du frein de blocage ci-dessus visé, libérant ainsi le mécanisme de l'appareil. Dès lors, le contrepoids, ou ce qui en tient lieu, intervient en fermant l'appareil.

On comprend l'importance de ces organes de fermeture automatique. En cas de rupture de tuyau, on obtient l'arrêt immédiat du courant, et ainsi les conséquences de la rupture demeurent

à ventouse (généralement un flotteur). Ces appareils de rentrée d'air doivent donc être protégés contre le gel.

J'ai fait allusion, ci-dessus, à la sortie et à la rentrée de l'air. Dans le cas du reniflard tout se passe sans difficulté. Dans le cas des ventouses, par contre, il faut prendre les dispositions nécessaires pour que la ventouse demeure ouverte quand la

Fig. 17. — Autre disposition de cheminée d'équilibre entre la galerie en charge et la conduite forcée. La figure montre : 1) la grille au débouché de la galerie en charge avec le treuil pour les manœuvres de nettoyage ; 2) la vanne-tiroir de type circulaire (organe de fermeture) à l'entrée de la conduite forcée ; 3) la vanne automatique à papillon et la ventouse de sortie et de rentrée de l'air (organe de sécurité) ; 4) la décharge de fond du puits.

conduite est vide. En effet, après le déclenchement de l'appareil automatique de fermeture, ou mieux, après la fermeture à l'aide d'un quelconque appareil de fermeture, la conduite se remplit généralement à nouveau à l'aide d'un by-pass. S'il n'existe pas à ce moment un appareil pour la sortie de l'air contenu dans la conduite, cet air ne pourra sortir que par le canal du by-pass qui amène l'eau. Cela provoquerait tout d'abord un notable ralentissement de l'opération de remplissage, et ensuite des vibrations que l'on doit éviter.

Les vannes à papillon à fermeture automatique sont généralement installées dans des lieux peu favorables à leur conservation.

En général, les chambres de manœuvre sont en cavernes ou en galeries ; elles demeurent donc humides. Cela peut faciliter la genèse de résistances passives dans le mécanisme de commande, résistances qui peuvent finir par empêcher le fonctionnement. D'autre part, ces appareils ne sont pas utilisés pour les manœuvres habituelles du fonctionnement normal de l'usine. Ce fait impose deux mesures de précaution : en premier lieu il est nécessaire de contrôler périodiquement les conditions du bon fonctionnement de l'appareil, et en second lieu, il est nécessaire de disposer, sur l'appareil, une commande à distance, manœuvrable de la centrale.

L'épreuve du fonctionnement de l'appareil nécessite sa fermeture, c'est-à-dire l'interruption de la marche. Certains constructeurs ont pourvu leurs appareils d'un dispositif simple qui permet, en manœuvrant un levier à main, de libérer les contrepoids. Si celui-ci commence à descendre et amorce par conséquent la fermeture du papillon, on voit alors intervenir une butée qui arrête tout, après un court trajet du contrepoids. On réalise ainsi le but de vérifier si l'appareil fonctionne, sans interrompre la marche. Avec la commande à main, ensuite, on r'ouvre totalement l'appareil.

La commande de fermeture à distance, mentionnée ci-dessus, est toujours électrique. Elle permet de provoquer la fermeture de l'appareil dans le cas où la palette demeurerait bloquée. C'est pourquoi cette commande électrique doit tirer son énergie d'une source différente de celle produite par l'eau de la conduite. Si cela n'était pas ainsi, en effet, lors d'un désastre provoquant l'arrêt de la centrale, l'énergie manquerait pour manœuvrer la vanne et, si la fermeture automatique ne fonctionnait pas, la vanne resterait ouverte. Généralement, on se sert de la batterie d'accumulateurs existant dans l'usine.

Toujours sur le chapitre de la sécurité, je mentionnerai, en passant, que des dispositifs ont été étudiés pour protéger la conduite forcée contre les coups de bélier. Ces dispositifs sont basés sur divers principes, dont l'un est très ingénieux ; ils n'ont toutefois pas reçu d'application pratique.

DISPOSITIFS DE FERMETURE.

Les appareils de simple fermeture, d'un usage courant dans les conduites forcées, sont :

- les vannes de type circulaire avec obturateur tiroir ;
- les robinets-vannes ;
- les vannes à papillon ;
- les vannes de type sphérique à obturateur tournant ;
- les vannes Johnson et types similaires.

Les vannes-tiroirs de type circulaire s'appliquent aux tuyaux d'entrée des conduites (voir fig. 17), et elles réalisent une excellente fermeture. Il est très facile de leur adjoindre un by-pass ; leur construction et leur fonctionnement sont simples et, spécialement pour les grands diamètres, quand le plancher de manœuvre n'est pas trop au-dessus de l'axe du tuyau, elles sont plus économiques que les robinets-vannes par exemple. Étant donné leur mode de fonctionnement, on peut aussi très souvent admettre que le diaphragme soit en fonte.

Les robinets-vannes représentent certainement un excellent appareil de fermeture (voir fig. 18), avec lequel il est facile

d'obtenir une étanchéité parfaite ; ils se prêtent aussi à la réalisation de la fermeture dans les deux sens. Ce type d'appareil de fermeture est celui dont on a fait le plus large usage jusqu'à maintenant. On peut construire des robinets-vannes avec le corps à section plate, ou ovale, pour les très basses pressions (surtout pour les aqueducs), et avec le corps à section ronde, pour toutes les pressions. Ce type d'appareil est plutôt encombrant, spécialement dans le sens de la hauteur, et il apparaît aussi comme passablement lourd et coûteux ; il se prête mal au fonctionnement partiel, parce que le tiroir obturateur est soumis à des oscillations et à des heurts. Cet inconvénient est spécialement grave quand les vitesses de l'eau sont grandes, comme par exemple dans les décharges. La manœuvre d'ouverture et de fermeture s'effectue dans les meilleures conditions quand la vanne est équilibrée, c'est-à-dire quand les pressions sont égales sur les deux faces du tiroir. C'est pourquoi, il est recommandé d'adjoindre un by-pass à ce type d'appareil. Les robinets-vannes sont encore largement utilisés comme appareils de fermeture des machines.

Les vannes à papillon sont aussi utilisées comme appareils de fermeture. Elles aussi se comportent mal en fonctionnement

(comme c'est le cas par exemple pour les usines exclusivement de pointe).

La vanne à papillon est à déconseiller totalement sur les collecteurs ou comme organe de fermeture des machines.

Les vannes de type sphérique à obturateur tournant ont été introduites récemment. Il en existe plusieurs types, et dans tous, on reconnaît comme caractéristiques la forme sphérique de l'enveloppe et le mouvement rotatif de l'obturateur. Où les divers types se différencient l'un de l'autre, c'est dans le système qui réalise l'étanchéité.

Ce sont des vannes certainement excellentes et moins encombrantes que les robinets-vannes, donc mieux adaptées que ces dernières pour les collecteurs, où très souvent le projecteur manque d'espace, spécialement dans le cas de la hauteur. Elles sont toutefois plus lourdes que les robinets-vannes, et partant plus coûteuses.

Ce type de vanne est absolument à déconseiller pour des fonctionnements à ouverture partielle ; il se produit alors des vibrations notables, et des phénomènes de cavitation apparaissent aussi. Cette question a également fait l'objet d'une

Fig. 18. — Schéma d'un groupe d'appareils de fermeture et de sécurité. L'organe de fermeture étanche est un robinet-vanne avec commandes à main et à moteur. Les organes de sécurité sont représentés par une vanne automatique à papillon et la ventouse de sortie et de rentrée de l'air.

partiel, donnant lieu à des vibrations gênantes et dangereuses. D'autre part, on sait qu'on ne peut pas attendre une étanchéité parfaite des vannes à papillon, quelque soignée qu'en soit la construction. Dans de nombreuses installations comportant une vanne de tête à papillon automatique, on ajoute à cette vanne une deuxième vanne à papillon, avec commande hydraulique, ou à main, ou à moteur. De ces deux vannes, la première retient la grande masse de l'eau, tout en en perdant une certaine quantité ; cette perte, arrivant dans l'espace entre les deux vannes, trouve une décharge par laquelle elle sort ; par suite, vu le manque de pression dans l'intervalle, la seconde vanne réussit à réaliser sa fermeture complète et à maintenir la conduite à sec. Ce système est certainement économique, en tant que la seconde vanne à papillon coûte beaucoup moins qu'un robinet-vanne ou qu'une vanne circulaire. Mais s'il s'agit d'installations alimentées par un réservoir, il porte inévitablement à perdre de l'eau en grande quantité, surtout si les interruptions de marche sont prolongées

publication de cette Revue (1). Dans certains types, la manœuvre d'ouverture et de fermeture peut s'effectuer aussi sans l'équilibrage des pressions en amont et en aval. La vanne reste évidemment soumise au phénomène vibratoire durant l'ouverture et la fermeture. Quelques autres types, au contraire, ont besoin de l'équilibrage des pressions pour la manœuvre. Pour cette raison, ces derniers types ne sont pas recommandables comme robinets de machine. En effet, les distributeurs des turbines, spécialement pour le type Francis, ne ferment plus parfaitement après quelque temps de service, et alors la vanne se trouve déséquilibrée pendant la manœuvre. Dans une installation récente, un de ces types de vanne, employé comme vanne d'arrêt de machine, a engendré des troubles qui n'ont pas encore été éliminés.

Comme organe de fermeture normale à fonctionnement équilibré, tous les types de vanne sphérique sont bons.

(1) *L'Energia Elettrica*.

Les vannes du type Johnson et de types similaires sont également excellentes (fig. 19) ; leur caractéristique prééminente consiste dans le fait qu'elles peuvent se prêter, mieux que tout autre type, à la marche à ouverture partielle. Elles ont également été adoptées comme vannes d'arrêt de machine. Elles réalisent une fermeture parfaite dans de bonnes conditions de fonctionnement. Si elles sont appelées à fonctionner continuellement, et si les eaux ne sont pas limpides, elles seront

sement du tuyau sous l'effet de la pression atmosphérique extérieure, dès qu'une dépression s'accuse à l'intérieur.

Dans ces mêmes conditions de grand diamètre et de petite épaisseur, il est bon de mettre encore un appareil pour la rentrée de l'air dans les coudes en plan vertical, c'est-à-dire aux points où l'on passe brusquement, dans la direction amont-aval, d'une petite à une grande inclinaison. En ces points, peut se produire en effet, comme on l'a déjà dit, la rupture

Fig. 19. — Groupe d'appareils de fermeture et de sécurité dans lequel l'appareil de fermeture est une vanne à cylindre obturateur à fonctionnement automatique ; il y a en outre la valve de sortie et de rentrée de l'air.

toutefois exposées à une usure facile du siège de fermeture, d'où perte de l'étanchéité.

Ces types d'appareils représentent certainement la meilleure solution pour les décharges de fond des réservoirs.

Une précaution de caractère général à observer dans les conduites forcées consiste à mettre toujours un appareil d'entrée et de sortie d'air immédiatement à l'aval d'un appareil de fermeture, quand ce dernier est appliqué dans la partie haute de la conduite. Là, en effet, les conditions de diamètre du tuyau et d'épaisseur de la paroi rendent possible l'aplatis-

sement de la veine liquide à la suite d'une augmentation brusque du débit sous l'appel des turbines.

Décharges de fond.

Je crois opportun de parler de cet accessoire dans le chapitre des appareils de fermeture, parce que son fonctionnement est précisément assuré par des appareils spéciaux de fermeture.

Les décharges de fond doivent pouvoir effectuer une vidange rapide de la conduite forcée, lorsque l'eau ne peut plus passer au travers des machines. En principe donc, elles sont établies

en dérivation sur les embranchements du collecteur et aboutissent dans le canal de fuite.

Comme l'eau s'écoule avec de grandes vitesses dans ces

Fig. 20. — Vanne à pointeau pour décharges à haute pression, accouplée à un robinet-vanne.

conduites, celles-ci sont solidement maintenues par de nombreux ancrages, afin d'amortir les vibrations que de telles vitesses produisent en elles. Cependant, comme leurs dimen-

sions sont toujours petites par rapport à celles des tuyaux dont elles dérivent, il faut veiller à la position du premier ancrage. En effet, les tuyaux distributeurs ou collecteurs sont sujets en général à des déformations qui sont surtout de caractère élastique. Quand, par exemple, un collecteur est ancré à son extrémité amont et qu'il a une certaine longueur, son extrémité aval subit des déplacements notables, dus à l'allongement élastique du tuyau sous la sollicitation provoquée par la pression. Le tuyau de la décharge de fond, à son point d'attache, est évidemment obligé de suivre ce déplacement ; si le premier ancrage est très voisin, on provoque la rupture du raccord, dont la résistance n'est pas proportionnée à l'effort qu'exerce le tuyau principal en s'allongeant. C'est pourquoi, quand la décharge de fond est dérivée du tuyau collecteur en un point sujet à des déplacements, son premier ancrage doit être placé à une distance suffisante de ce point, de telle façon que le tronçon de la décharge compris entre l'ancrage et l'attache puisse suivre élastiquement les déplacements de l'attache même, sans qu'il se produise des efforts excessifs.

J'ai vu, plus d'une fois, démolir le premier ancrage de la décharge de fond, parce que les déformations devenaient dangereuses. Dans le cas d'un distributeur, j'ai mesuré moi-même, au point d'attache de la décharge de fond, des allongements de mm 14,5 du tuyau distributeur, en faisant varier la pression de zéro au maximum : ce cas fut précisément un de ceux pour lesquels on dut modifier l'ancrage de la décharge, et de bonnes conditions furent obtenues en mettant le premier ancrage à environ trois mètres de distance.

Quand les pressions sont petites, par exemple jusqu'à 30 atmosphères, on peut adopter, comme organe de fermeture de la décharge de fond, un robinet-vanne ordinaire du type rond, avec commande à vis extérieure ; la solution sera meilleure encore si le robinet est muni, sous l'opercule, d'un anneau de guidage de la veine liquide.

Pour les grandes pressions, il convient d'appliquer un déchar-

Fig. 21. — Schéma d'une décharge de fond pour conduite forcée à haute pression, constituée par un robinet-vanne avec anneau de guidage de la veine fluide et par une vanne à pointeau.

geur à pointeau (fig. 20). Le fonctionnement de cet appareil est excellent ; il se comporte en effet, aussi parfaitement que l'injecteur habituel d'une turbine Pelton. Cependant, cet appareil ne doit pas être appliqué seul ; il faut mettre, à l'amont, un robinet-vanne d'arrêt (fig. 21). En effet, l'obturateur à pointeau, tout en fonctionnant très bien dans la manœuvre d'ouverture sous pression, perd rapidement, avec l'usage, sa faculté de fermeture étanche, surtout s'il décharge des eaux sableuses. C'est pourquoi la fonction de la fermeture étanche, à décharge fermée, doit être confiée au robinet. La manœuvre

Fig. 22. — Selle en tôle incurvée avec scellements.

de ce dernier se fait à pointeau fermé, c'est-à-dire avec les pressions équilibrées sur ses deux faces. Le robinet-vanne conserve alors indéfiniment ses facultés de fermeture étanche.

Quand la pression de service est très élevée, surgit encore le problème de l'amortissement du jet.

Un membre de la UNFIEL a signalé le cas suivant, que je connaissais déjà, d'une décharge fonctionnant à 80 atm environ. Le déchargeur à pointeau est placé en tête du canal de décharge des turbines, et il débouche sous un matelas d'eau d'une épaisseur minimum de 80 cm. Soixante mètres plus loin, le canal est barré par une traverse formant retenue. Avec une ouverture partielle, à deux ou trois dixièmes seulement, on produisait une turbulence considérable et l'eau du canal, chassée, se retirait jusqu'à rendre le premier tronçon du jet libre et presque silencieux ; mais tout de suite après, avec un grand bruit, la vague de retour venait submerger le jet. Le phénomène se répétait alternativement, en provoquant le vidage partiel du canal. Évidemment, pour adopter un dispositif de ce genre, il faudrait disposer de matelas d'eau de hauteur notablement plus grande. C'est pourquoi, il semble préférable de faire donner le déchargeur à aiguille dans un puits d'une profondeur suffisante, qui permette au jet de s'amortir sur le fond. Ce fond sera constitué par une grosse plaque de tôle ou d'acier coulé ; tout revêtement en béton ou en pierre serait inévitablement brisé et déchaussé.

Dans quelques cas (usine de la Société du Barbellino, usine de Campiccioli de la Société Edison) on a rencontré des conditions favorables permettant la décharge directement à l'air libre. C'est la solution parfaite. Le jet, dans ces deux cas, se disperse en un gros panache de pluie, qui retombe dans le bassin, à plus de cent mètres de distance.

Je ne connais pas, pour le moment, de types spéciaux d'amortisseurs pour ces jets.

ACCESSOIRES.

Il convient d'examiner séparément les divers accessoires utilisés dans une conduite forcée. Les principaux sont :

- les selles d'appui ;
- les trous d'homme ;
- les joints de dilatation ;
- les ferrures d'ancrage ;
- les châssis de guidage ;
- les joints de démontage ;
- les organes de purge d'air ;
- les appareils de mesure de débit.

Selles d'appui.

Elles sont de types très variés, suivant les exigences particulières qu'elles doivent satisfaire.

La selle proprement dite est toujours placée au sommet d'un petit socle qui tient lieu de soutien de la conduite.

Dans la détermination de la distance entre socles successifs, il faut veiller sur les deux points suivants : tout d'abord, dans un alignement, la conduite se comporte comme une poutre continue reposant sur des appuis fixes représentés précisément par les selles. Dans le cas où la distance entre ces selles devient grande par rapport au diamètre du tuyau, il faut faire la vérification des efforts que le poids propre du tuyau, et le poids de l'eau contenue, provoquent dans les parois et dans les joints transversaux. En second lieu, comme les tuyaux normaux d'un alignement sont à peu près d'égale longueur, il faut que la distance entre selles ait une certaine relation avec la longueur des tuyaux, afin d'éviter que quelque joint ne vienne précisément tomber sur un appui.

La selle transmet à son socle un effort vertical qui est en relation avec le poids. Mais elle transmet aussi un effort tangentiel toutes les fois qu'une variation thermique (ou autre) provoque des mouvements longitudinaux de la conduite. Cet effort est proportionnel à la composante du poids et au co-

Fig. 23. — Selle en tôle incurvée avec petit canal d'écoulement d'eau.

efficient de frottement. Aussi, quand les circonstances imposent l'exécution de socles très hauts, il faut réduire cet effort tangentiel en recourant à des selles spéciales, appelées communément selles à rouleaux, dans lesquelles le frottement de glissement est remplacé par un frottement de roulement, de beaucoup inférieur.

Dans d'autres cas, la conduite peut encore accuser des mouvements dans le sens transversal, comme par exemple, dans les coudes marqués en plan et non bétonnés. Les selles intéressées doivent alors permettre également ces mouvements transversaux.

Les socles reposeront toujours sur le terrain solide et de préférence sur le rocher. Il est très fréquent de constater que certains socles se sont abaissés et que le tuyau ne touche plus la selle. Ces inconvénients peuvent avoir des conséquences fâcheuses, résultant du fait que l'effort de flexion croît suivant le carré des distances entre appuis et si deux ou trois selles successives viennent à manquer, on arrive à provoquer des déformations permanentes et des ruptures de tuyaux ou de joints transversaux.

On constate, malheureusement très souvent, qu'on n'a pas donné à ces appuis toute l'importance qu'ils méritaient. Il m'est déjà arrivé de voir de nombreux cas de selles ne fonctionnant plus, ou de socles rompus, surtout à la base. Ce sont autant de causes de fonctionnement anormal de la conduite forcée.

La selle courante est en forme de tôle incurvée (fig. 22) ;

Fig. 24. — Selle à pieds et rails.

cette selle se prête également bien pour tous les types de tuyaux et elle est employée surtout pour les diamètres petits et moyens. La selle épouse le tuyau, suivant une courbure identique, sur environ 120°. Ce type de selle présente pourtant un inconvénient : dans les mouvements longitudinaux de dilatation et de contraction, le tuyau frotte sur la selle, et ainsi la peinture de l'un et de l'autre s'en va rapidement. Il se forme alors, avec le temps, une abondante rouille sur cette surface de frottement. Souvent, après 10 ou 15 ans d'exercice, les tôles des selles sont tellement corrodées, que, si on est amené à les toucher quelque peu, elles deviennent inutilisables. Enfin, avec les tuyaux frettés, on peut relever que les anneaux de fretage, qui appuient sur les selles, forment autant de petites chambres fermées susceptibles de retenir de l'eau. C'est pourquoi, les constructeurs sont amenés à ménager un petit canal évacuateur de cette eau dans la partie basse de leurs selles (fig. 23).

La selle en tôle incurvée constitue le type de selle le plus économique.

Une autre selle, très intéressante aussi, est celle dite à pieds et rails (fig. 24). Sur le tuyau, ou sur la partie inférieure de celui-ci, sont rivées deux cornières avec ailes se faisant face. Entre ces ailes on introduit et fixe deux supports, habituellement en fonte, présentant une gorge vers le bas. Cette gorge vient reposer sur le champignon d'un rail faisant saillie sur le socle d'appui. Les avantages de ces selles sont manifestes. En particulier, les cornières constituent un précieux raidissement de la conduite au droit des appuis. En outre, avec ce type, le tuyau est complètement libre et son inspection est facile. Quand il faut laisser la possibilité de mouvements transversaux, l'extrémité inférieure du pied n'est plus taillée en

forme de gorge, mais elle est laissée plate, et l'appui ne se fait plus sur un rail, mais sur une tôle à surface plane. On peut adopter ce type de selle pour les tuyaux rivés et pour les tuyaux soudés, mais pas pour les tuyaux frettés. Il est beaucoup plus lourd et plus coûteux que le type précédent.

Je laisse de côté de nombreux autres types de selles qui constituent des solutions de cas plus ou moins particuliers.

Je mentionnerai par contre un fait curieux qui s'est présenté récemment dans une installation. Ce fait n'est d'ailleurs pas isolé.

Dans une conduite rivée de 1700 mm de diamètre, il existe un alignement long d'environ 230 mètres, très faiblement incliné. Sur un tronçon de 150 mètres, sensiblement au centre de l'alignement, le terrain se déplace superficiellement dans une direction presque normale à l'axe de la conduite. Les ancrages extrêmes demeurent au contraire immobiles. Munis tout d'abord

de selles incurvées, les socles, entraînés par le terrain, entraînaient à leur tour la conduite. On était arrivé ainsi à un déplacement d'environ 17 centimètres vers le milieu de l'alignement. On a paré à l'inconvénient en enlevant les selles en tôle incurvée, en redressant la conduite, puis en appliquant une selle spéciale, dûment étudiée, qui permet de redresser la conduite avec grande facilité, sans qu'il soit nécessaire de toucher la partie maçonnée. La selle, tout en permettant les mouvements longitudinaux de la conduite, peut elle-même subir un mouvement transversal qui compense le déplacement du terrain. L'opération exigée par ce mouvement transversal peut même se faire sans vider la conduite.

En résumé, les deux types qui, aujourd'hui, sont les plus largement utilisés sont ceux en tôle incurvée et ceux à pieds et rails. Pour améliorer le type en tôle incurvée, il faut chercher à éliminer facilement l'humidité qui peut imprégner la zone

de contact entre les tuyau et selle, et cela peut être obtenu avec des petits canaux ménagés dans la selle, comme dans le cas déjà cité des tuyaux frettés.

Trous d'homme.

Il y a bien peu de choses à dire. Dans les conduites de grand diamètre et à pente légère, les trous d'homme peuvent être placés à des distances relativement grandes. Dans les petites conduites, ou encore quand les pentes sont fortes (ce qui nécessite l'usage de cordes pour la visite de l'intérieur), il convient qu'ils soient beaucoup plus rapprochés, et cela pour des raisons faciles à comprendre. En règle générale, il est bon de prévoir un trou d'homme dans le voisinage de chaque sommet.

Quand il y a un joint de dilatation, et que le tuyau mâle est muni d'un raccord à brides, le trou d'homme devient inutile, parce qu'en engageant le tuyau mâle dans le tuyau femelle, on crée un accès à l'intérieur de la conduite. Dans les conduites frettées l'accès à l'intérieur est presque toujours réalisé de cette façon.

Un trou d'homme ou autre moyen d'accès, ne doit jamais manquer dans les conduites de distribution, dans les collecteurs, et dans le voisinage des appareils de fermeture.

Quand le diamètre de la conduite dépasse un mètre et demi, il ne convient plus de placer le trou d'homme sur la partie haute du tuyau. Il faut l'appliquer sur le côté, ou dans le secteur inférieur, à environ 45°. Avec le trou d'homme en haut, on ne peut en effet pas sortir de la conduite si on ne dispose pas d'un tabouret à l'intérieur de celle-ci.

(A suivre)