LA HOUILLE BLANCHE

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

Pour la Rédaction :
S'adresser à M. P. PAGNON
Secrétaire Général

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

Pour les Abonnements et Annonces :
S'adresser à M. B. ARTHAUD
Editeur

19, Boulevard Gambetta, 19
GRENOBLE

Le Numéro : 7 francs
Compte Chèques Postaux LYON 5-84

23, Grande-Rue, 23
GRENOBLE

COMITÉ DE DIRECTION SCIENTIFIQUE

BARBILLON, 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 (*suite et fin*), par le Dr Ingénieur Umberto BONO. — Adduction des eaux de la source d'Ain-el-Delbeh pour l'alimentation de la banlieue de Beyrouth (Liban), par Arie VISSER, Ingénieur hydraulicien.

ELECTRICITE. — Contrôle de la stabilité des fondations sujettes à l'influence conjointe des changements verticaux et horizontaux, par R. VELLÉ.

DOCUMENTATION. — Les ressources hydroélectriques de l'U. R. S. S., etc., etc..

LEGISLATION. — Le mois fiscal, par Roger et Jacques LEFÈVRE. — Taxe de transmission, valeur imposable, conséquences d'une augmentation de capital. — Retenues à pratiquer sur les salaires ou honoraires versés à des contribuables domiciliés hors de France. — Extension des délais de contrôle de l'Administration et des sanctions fiscales en matières d'insuffisances de prix ou d'évaluations. — Suppression du droit proportionnel de patente sur les locaux d'habitation.

INFORMATIONS. — Le prochain Congrès de la Conférence Internationale des Grands Réseaux électriques.

BIBLIOGRAPHIE.

HYDRAULIQUE

Problèmes constructifs relatifs aux conduites forcées et ouvrages accessoires

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

(SUITE ET FIN)

par Dr.-Ing. UMBERTO BONO

ENTRETIEN COURANT.

Je résumerai quelques règles à observer, au cours de l'exercice, en vue d'un bon entretien des conduites.

Il est tout d'abord nécessaire d'effectuer des visites périodiques de la conduite, en suivant tout son parcours. Durant ces visites, on observera s'il y a des pertes. Celles-ci se manifestent le plus volontiers au droit des garnitures, dans les jonctions rivées, dans les joints de dilatation, dans les trous d'homme. Il faudra aussi surveiller les petits tuyaux de drainage des jonctions murées dans les massifs. Les blocs d'ancrage eux-mêmes doivent être inspectés, en observant s'ils se fissurent ou s'ils se détachent du terrain qui les entoure. Les socles des selles d'appui devront être examinés et on vérifiera, surtout vers la base, s'ils ne sont pas rompus. Les joints de dilatation devront présenter des traces dues au mouvement de va-et-vient d'un tuyau dans l'autre. Il faudra encore vérifier si le tuyau appuie sur toutes les selles. Si une selle s'est abaissée, et n'est

plus en contact avec le tuyau, elle devra être immédiatement remise en place.

Les appareils de fermeture, avec commande à main, ou à moteur, ou hydraulique, devront être essayés de temps en temps afin de contrôler leur efficacité.

Une fois, tous les 15 jours, on fera déclencher les vannes automatiques, soit à la main, soit par la commande électrique à distance, afin de constater que l'appareil amorce bien le mouvement de fermeture dès que son mécanisme est libéré. Il faut visiter périodiquement les Stauffer de graissage des mécanismes et activer ce dernier.

Si on rencontre des pierres éboulées, il est bon de se rendre compte de leur provenance et d'inspecter le voisinage pour voir si de nouvelles chutes sont à craindre. Si c'est le cas, il convient d'enlever carrément les pierres menaçantes, pour autant qu'elles sont transportables, et d'étayer les autres par des maçonneries. On peut encore établir des protections ap-

propriétés. Il faut bien se dire qu'une pierre, même si elle n'est pas de très grandes dimensions, peut provoquer l'éclatement de la conduite forcée en tombant sur elle avec une certaine vitesse.

Si on relève des petites pertes dans les garnitures autoclaves (un écoulement par gouttes ou par filets), le remplacement de ces garnitures ne s'impose pas nécessairement. Une première tentative, pour recréer l'étanchéité, consiste à donner des coups de masse sur les brides, pendant que le tuyau est en pression. Si la garniture n'est pas rompue et qu'elle perd uniquement parce qu'elle est un peu hors de son emplacement, on peut réussir, avec ce moyen très simple, à la rendre de nouveau complètement étanche.

Si des suintements apparaissent sur les pièces en acier moulé, on peut essayer de les arrêter en martelant les zones intéressées. Si cette opération se fait avec toute la pression, on évitera de donner des coups violents. Ces coups seront plus énergiques, si on arrive à baisser la pression de 60 à 70 % par exemple.

Il est bon également, au moins une fois par an, de faire une visite à l'intérieur de la conduite forcée, afin d'observer s'il se produit des phénomènes d'oxydation ou d'incrustation. A cette occasion, on vérifiera aussi l'étanchéité des appareils de fermeture.

Si on constate des phénomènes d'usure dus au sable ou à d'autres causes, il faut suivre leur progrès afin de ne pas arriver à des amoindrissements dangereux pour la résistance.

Enfin, dans le cas où on constaterait des mouvements de terrain, on devra sans retard les étudier très soigneusement, parce qu'ils peuvent provoquer des ruptures catastrophiques.

On vérifiera immédiatement la position des ancrages et l'alignement des tuyaux. Enfin, on prendra les mesures qui s'imposent, si des déformations se sont déjà produites dans la conduite forcée.

On constate quelquefois, dans des conditions déterminées de fonctionnement des machines, qu'il se produit dans la conduite forcée certaines vibrations se manifestant par un son plus ou moins fort. Ce son est probablement causé par des phénomènes en résonnance avec la période initiale de la vibration. Quand on remarque ces vibrations, il est très opportun de bien en étudier la cause et de chercher à les éliminer. Elles peuvent avoir, elles ont même certainement, une influence sur la dégradation du matériel constituant les tuyaux (1).

VIII. — CONDUITES ÉLASTIQUES DANS LE ROCHER.

REMARQUE PRÉLIMINAIRE.

Ce type très spécial de conduite forcée fait l'objet d'un brevet de la Société Générale Italienne Edison d'Électricité et de l'ingénieur Pietro Marinoni. Le brevet date du 20 mai 1920, avec modifications ultérieures.

Dans les fascicules des mois de septembre, octobre et décembre 1926 de la revue *Energia Elettrica*, l'ingénieur Marinoni a longuement expliqué les conditions de calcul de ces conduites, et il a aussi fait une mention rapide des premiers résultats obtenus dans les installations de Pallanzeno et de Rovesca, de

la Société Edison, dans lesquelles ce type de conduite fut adopté. Une troisième installation, avec ce même type de conduite forcée, était alors en construction.

Avant de décider du système à adopter pour l'installation de Pallanzeno, on avait fait des expériences sur ces tuyaux. C'était toutefois un bien difficile problème que de reproduire, dans une expérience de dimensions forcément limitées, toutes les conditions que l'on rencontre dans une conduite forcée très importante, installée dans un puits traversant, sur une grande longueur, l'intérieur d'une montagne. Il n'est donc pas étonnant que cette première réalisation ait suggéré certaines modifications dont ont bénéficié les deux installations ultérieures.

D'une façon générale, les trois installations visées ci-dessus ont permis de pénétrer complètement le problème, et on peut affirmer aujourd'hui, grâce à tous les renseignements recueillis, que dans les éventuelles installations futures, tous les inconvénients relevés jusqu'ici contre la conduite élastique pourraient être éliminés.

CARACTÉRISTIQUES ET OBJECTIFS DES CONDUITES ÉLASTIQUES.

Ce type de conduite a été suggéré par le souci de réduire au minimum la partie métallique de la conduite forcée, en lui enlevant la mission de résister à la pression de l'eau et en lui laissant seulement celle de réaliser la tenue hermétique. La charge de résister à la pression est confiée au rocher qui constitue la montagne.

On en conclut naturellement que ces conduites doivent être montées dans des puits excavés en pleine montagne, puits qu'il n'est pas du tout nécessaire de prévoir verticaux, mais qui doivent cependant être entourés, dans chaque direction, d'une masse suffisante de rocher.

On calculera donc quelle est l'épaisseur minimum de rocher nécessaire pour résister à la pression, et on établira le tracé de la conduite en conséquence.

On comprend immédiatement que le schéma général d'une telle conduite peut être conçu comme suit, en allant de l'amont vers l'aval : un premier tronçon vertical, de courte longueur, pour obtenir rapidement une certaine épaisseur de rocher autour du tuyau ; à sa suite, une galerie inclinée, dont l'inclinaison dépendra du profil extérieur de la montagne ; un dernier tronçon horizontal, ou presque, pour sortir à l'air libre et entrer dans la centrale, étant admis que cette dernière est à l'extérieur, ce qui est généralement le cas. La sortie de la conduite ne peut évidemment plus être exécutée avec des tuyaux élastiques, vu que le milieu résistant manque ; c'est pourquoi, le dernier tronçon horizontal restera du type élastique tant que la protection de rocher demeurera suffisante, mais le reste devra être construit avec des tuyaux rigides du type commun. Naturellement, si la conduite doit alimenter plusieurs turbines, on pourra exécuter la ramification encore dans l'intérieur de la montagne, et sortir avec autant de tuyaux mineurs du type rigide qu'il y a de turbines à alimenter.

Quels peuvent être les avantages de ce système ?

Quand il faut amener à la centrale de grandes masses d'eau sous une forte chute, on voit surgir le problème constructif des tuyaux. On est arrivé, de nos jours, à construire des tuyaux pour de très hautes chutes, dépassant les 1000 mètres : on a même essayé des tuyaux d'un peu plus d'un mètre de diamètre pour des pressions de l'ordre de 1800 mètres. C'est toutefois un problème encore bien difficile que de construire des tuyaux de grand diamètre pour ces très hautes pressions. Aussi, quand

(1) Presque toutes les photographies et les dessins reproduits à titre d'illustration de ce qui a été dit dans les chapitres précédents, ont été choisis dans les illustrations de nombreuses publications de la « Société Italienne des Tuyaux Togni ». Je remercie vivement ladite Société qui m'a fourni aimablement cette documentation.

une forte chute s'accompagne d'un fort débit, il convient de diviser la conduite forcée en conduits multiples.

Au contraire, avec le système élastique, il est possible de concilier de grands diamètres avec de grandes chutes. Tout revient à proportionner la couche de rocher résistant et à s'assurer que celui-ci est apte à la résistance. On peut alors construire une seule galerie, ou une seule conduite, au lieu de plusieurs.

Avec ce type de conduite, la perte de charge est réduite, au minimum. Ces conduites sont parfaitement lisses dans la

parfaitement lisse, de diamètre légèrement inférieur à celui de la conduite élastique (à cause du plus grand développement de la surface mouillée déterminé par l'ondulation).

Vis-à-vis du coup de bélier, également, ces conduites se trouvent certainement dans des conditions plus favorables, et cela, non seulement parce qu'on peut diminuer la vitesse de l'eau, mais aussi parce que la masse absorbant le choc est énorme, et parce que l'élasticité de la conduite amortit très rapidement les ondes.

La conduite étant cachée à l'intérieur de la montagne, on n'a plus à se préoccuper des éboulements, des avalanches, des effets du gel. Quand on a protégé contre le gel les dérivationes qui vont aux machines (dérivationes qui n'ont toujours qu'un très bref parcours), on peut laisser ces conduites toujours pleines, même pendant de longues périodes d'hiver et quelle que soit la température.

Au point de vue économique, quand la caractéristique $H \times D$ de la conduite dépasse une valeur déterminée, ce système est moins coûteux que le système ordinaire ; pour de fortes valeurs de la susdite caractéristique (grand débit et grande chute) l'économie sur la dépense d'installation peut dépasser le 50 %. Il faut évidemment mettre à profit, pour l'organisation des chantiers, les expériences qui ont été faites dans les installations exécutées.

Nous verrons plus loin les inconvénients rencontrés dans la pratique.

FORME DES TUYAUX.

Les tuyaux ondulés pour les conduites élastiques dans le rocher sont construits en tôle mince (4 millimètres pour les conduites de Pallanzeno et de Rovesca, 5 millimètres pour la conduite de Mese). Vu leur diamètre généralement grand, on les forme avec plusieurs tôles soudées entre elles, dans le sens des génératrices, par soudure oxy-acétylénique. Toujours dans le sens des génératrices, les tôles présentent des ondulations convenablement espacées, en relation avec le diamètre et la pression (fig. 43 et 44). Ces ondulations sont imprimées sur les tôles, après le calandrage, et présentent leur convexité vers l'intérieur du tuyau (fig. 43). Aux deux extrémités, les tôles sont relevées en forme de collerette et les tuyaux munis de brides mobiles. Sous ces brides, aux extrémités du tuyau, les ondulations s'atténuent et se raccordent à la collerette pressée par la bride.

Afin d'empêcher que le béton jeté (comme nous le verrons plus loin), entre tuyau et rocher, vienne remplir le creux des ondulations (ce qui limiterait leur fonction), on dispose extérieurement, sur chaque sillon, une bande de tôle très mince, dont l'unique but est précisément d'empêcher au béton de s'introduire dans les ondulations lors du coulage. Toutes ces bandes de tôle sont maintenues en place par un frettage obtenu avec du simple fil de fer (fig. 44).

Comme on l'a dit plus haut, les tuyaux ont leurs extrémités munies de brides. Ces brides permettent de presser une garniture de forme spéciale, en plomb dans la première installation

Fig. 44. — Aspect extérieur des tuyaux ondulés.

direction du courant ; elles ne présentent pas les ressauts dus aux épaisseurs de tôles superposées ; elles n'offrent pas les discontinuités dues aux têtes des rivets, ni les variations de diamètre des joints de dilatation ; elles éliminent presque totalement les pertes de charge localisées dans les courbes, parce que, comme nous l'avons déjà vu, le nombre de ces courbes peut se réduire à deux, et ces deux courbes peuvent être de grand diamètre. En outre, la possibilité d'augmenter le diamètre permet d'envisager la diminution de la vitesse, d'où nouvelle possibilité de diminuer la perte de charge. En fait, la perte de charge dans ces conduites est celle que donnerait un tuyau

de Pallanzeno, en plomb et caoutchouc dans les installations ultérieures de Rovesca et de Mese. Ce dernier type de garniture s'est révélé parfaitement étanche.

Comme on le voit très clairement dans les figures 43 et 44, il existe un certain espace entre la conduite élastique et les parois de la galerie. Dans les trois installations exécutées, cet espace avait une largeur moyenne d'environ 40 cm et on a rempli cet espace avec du béton dans lequel on noya le système de drainage dont je parlerai plus loin. Le béton n'a pas pour fonction de résister à la pression intérieure de l'eau ; il constitue un simple bourrage, qui reçoit la compression du tuyau et la transmet au rocher environnant. C'est ce dernier qui doit s'opposer à la pression intérieure.

C'est pourquoi, le béton de remplissage est exempt de toute armature métallique, et même s'il se fissure, comme cela est d'ailleurs à prévoir, il ne cesse pas pour cela de remplir sa fonction, il est toutefois nécessaire qu'il ne s'écrase pas sous l'effet de la compression. Aussi, dans l'étude de sa composition, il faudra tenir compte de l'effort de compression auquel il sera soumis.

Il a été prouvé, dans la première installation, que même en prenant toutes les précautions possibles, on ne peut pas obtenir un béton absolument compact. C'est surtout sous le tuyau qu'il est difficile d'effectuer le bourrage et c'est là, directement sous la tôle, que certains vides subsistent. Ce défaut de bourrage a pu être constaté particulièrement dans la première installation, à Pallanzeno. Sur d'autres points, on a rencontré un béton défectueux et de résistance insuffisante.

Au droit de ces discontinuités, la tôle mince du tuyau manquait évidemment du soutien qui lui est nécessaire, vu qu'elle n'a aucune aptitude pour résister seule aux efforts de la pression. Sur ces points donc, la tôle a cédé vers l'extérieur et il en est résulté des déformations et des aplatissements, voire des ruptures des ondulations. Il s'agit, évidemment, de déformations localisées et d'une ampleur qui n'est jamais atteinte par les déformations élastiques normales des ondulations.

Afin d'empêcher les fâcheux effets de ces solutions de continuité du béton, et afin également de se garantir contre une éventuelle et exceptionnelle faiblesse du rocher, les projeteurs ont imaginé de renforcer les tuyaux avec un frettage constitué par un fil d'acier à haute résistance. L'importance de ce frettage est proportionnée à la pression statique à laquelle les divers tuyaux sont soumis.

Une partie des tuyaux constituant la conduite élastique de Rovesca a été précisément frettée avec des moyens de circonstance improvisés sur le chantier de montage ; par contre, tous les tuyaux de la conduite élastique de Mese ont reçu cette sorte de frettage directement dans l'atelier de construction.

Dans ce dernier cas, on fit usage de fil d'acier à haute résistance de 4, 4.5, 5, 5.5, 6 mm de diamètre, appliqué en une, ou deux, ou trois couches. De cette façon, il fut facile d'obtenir une résistance de frettage croissant d'une manière presque uniforme de l'amont vers l'aval.

Ce frettage modifie évidemment quelque peu l'image première des conduites élastiques dans le rocher. Cependant, sur la foi d'essais systématiques d'atelier exécutés sur tous les tuyaux, il résulte clairement que la roche de la montagne est encore appelée à résister.

Je reviendrai sur ce sujet en parlant des essais sur tuyaux.

SYSTÈME DE DRAINAGE.

Les tuyaux élastiques ne sont pas en mesure de résister à une pression venant de l'extérieur. Cela tient à la minceur de leurs parois, comparée au diamètre des tuyaux, ainsi qu'à la

présence des ondulations. C'est pourquoi, il faut empêcher de façon absolue que de l'eau puisse se mettre en pression à l'extérieur des tuyaux, c'est-à-dire dans l'anneau de béton de remplissage.

L'eau peut arriver dans cet anneau de deux façons : ou de l'intérieur de la conduite, par l'effet de pertes de garnitures ou de ruptures dans les tuyaux, ou par le rocher, sous l'action de drainage qu'exerce la galerie excavée au sein de la montagne. Cette eau se mettra évidemment sous une certaine pression. Cela ne nuit pas à la stabilité des tuyaux, tant que ceux-ci sont pleins ; mais s'il faut vider la conduite, cette eau immobilisée peut provoquer l'éclatement des tuyaux, même si sa pression n'est pas forte.

Il est donc d'une évidente nécessité de conduire cette eau à l'extérieur, au fur et à mesure qu'elle arrive, pour l'empêcher de se mettre en pression. Cette protection contre les dangers d'une pression extérieure est précisément la fonction du système de drainage qui a été étudié pour ces conduites.

Un tel système de drainage a été introduit dans les trois conduites construites et, là encore, on a tenu compte des expériences faites pour améliorer successivement la solution. Cette question du drainage a d'ailleurs été la principale préoccupation des projeteurs.

Dans l'installation de Pallanzeno, le système de drainage était constitué par trois tuyaux en tôle d'acier très mince, avec de nombreux trous suivant deux génératrices. Une tôle libre enveloppait ces tuyaux, afin d'empêcher que les trous ne soient bouchés au cours du bétonnage. Ces trois tuyaux, constitués par des éléments avec raccords à tulipe ont été noyés dans le béton, le plus près possible de la tôle de la conduite. Ils débouchaient à l'extérieur au droit des fenêtres, ce qui permettait de les surveiller et de mesurer les débits.

Dans l'installation suivante de Rovesca, on installa ces mêmes trois tuyaux, mais on en installa encore un quatrième, constitué par des tuyaux Mannesmann normaux, de 150 mm de diamètre et qu'on plaça directement sous la conduite. Au cours même du montage, on se servit de ce dernier tuyau pour évacuer les eaux de drainage de la montagne, qu'on récoltait sur les points où elles étaient particulièrement abondantes.

Dans la dernière installation, à Mese, on porta à quatre le nombre des tuyaux de drainage et on maintint le drainage de service en tuyaux Mannesmann. On fit arriver dans ce dernier les eaux récoltées par deux petites rigoles établies dans le voisinage du rocher, durant la construction. On tenta également d'établir un drainage entre le béton et le rocher.

Ce problème du drainage est le seul qui ne soit pas encore complètement résolu. Il est certainement susceptible d'améliorations notables qui lui donneront toute l'efficacité désirable.

A mon avis, il ne faut pas opérer le drainage au moyen de petits tuyaux, même nombreux, placés sur le pourtour de la conduite principale. Il faut au contraire le réaliser par de véritables galeries, réservées dans le béton pendant sa mise en œuvre. Les petits tuyaux devraient servir seulement à amener l'eau dans ces galeries et ils devraient être de longueur très limitée. On pourrait projeter franchement une seule galerie collectrice et l'établir de façon à la rendre visitable. Avec les tuyaux élastiques blindés, cette solution est certainement possible.

CONSTRUCTION DES TUYAUX ET ESSAIS D'ATELIER.

La construction de ces tuyaux ne présente pas de difficultés spéciales. Les ondulations sont obtenues par emboutissage des tôles à froid.

Dans les deux premières installations, à Pallanzeno et à Rovesca, les tôles, une fois embouties, ne subissaient plus aucun traitement thermique et passaient sans autre dans la construction des tuyaux. Cette façon de faire fut la cause de sérieux inconvénients qui furent mis en évidence par les essais des tuyaux en atelier. Ces essais révélèrent, en effet, que le métal était devenu cassant sur les ondulations. Ce fut la cause de la rupture de nombreux tuyaux au cours des essais d'atelier.

Dans la troisième installation, au contraire, toutes les tôles, après l'emboutissage, subirent un recuit de régénération. Le résultat fut satisfaisant. Les essais fournirent la preuve que tous les tuyaux se comportaient avec une absolue uniformité ; on n'eut plus de ruptures et les ondulations se révélèrent capables de supporter des déformations très grandes, de beaucoup supérieures, certainement, aux plus grandes déformations possibles dans l'ouvrage.

Il a déjà été précisé que les tôles nécessaires pour former un tuyau étaient soudées à l'oxyacétylène. On a toujours fait une soudure double (dedans et dehors) et l'on n'a pas relevé de rupture de soudure dans les trois installations exécutées.

Le façonnage de la collerette de retenue de la bride, aux deux extrémités du tuyau, est une opération très facile.

Ces tuyaux élastiques subissaient en atelier deux séries d'essais : un premier essai était fait sur les chemises ondulées, avant le frettage. Cet essai avait pour but de contrôler l'étanchéité des soudures et l'élasticité du tuyau. Pour cet essai, on avait admis, comme règle, de provoquer dans chaque tuyau une déformation fixe dépendant seulement du nombre des ondulations. Pendant l'augmentation de la pression, on mesurait à l'aide d'un appareil approprié, l'augmentation du développement du tuyau. Quand cette augmentation de développement atteignait une valeur fixée d'avance, on arrêtait l'accroissement de pression et, après un certain laps de temps, on amorçait la descente. Pendant la phase d'augmentation, comme pendant la phase de diminution de la pression, on traçait le diagramme de la déformation.

Quand les tuyaux étaient construits avec des tôles non recuites après l'emboutissage des ondulations, ces diagrammes révélaient une certaine diversité dans l'élasticité des tuyaux. Mais quand on fit usage de tôles recuites après l'emboutissage des ondulations, les diagrammes de déformation des chemises des divers tuyaux devinrent quasi immuables. On constata une absolue uniformité dans les pressions nécessaires pour provoquer la déformation maximum et une même uniformité dans les déformations définitivement acquises.

En somme, ces tuyaux possèdent au plus haut degré la qualité d'être élastiques. Il suffit de se représenter que, dans les chemises des tuyaux de Mese, possédant 27 ondulations sur la circonférence, des pressions de l'ordre de 13 mètres d'eau suffisaient pour provoquer des déformations de l'ordre de 14 à 15 mm sur le développement, soit plus de 4 mm sur le diamètre.

Après le frettage, les tuyaux subissaient, toujours dans l'atelier du constructeur, une nouvelle épreuve que nous pouvons appeler d'élasticité et de résistance. Cette épreuve consistait à soumettre le tuyau à une pression égale à une fois et demie la pression statique d'exercice, étant entendu que la pression d'exercice est celle qui correspond au tuyau situé le plus bas dans la conduite de tous ceux ayant un type déterminé de blindage. C'est, en somme, un essai parfaitement identique à ceux déjà décrits pour les tuyaux soudés et frettés.

Il faut se rappeler que ces tuyaux ondulés n'ont aucune aptitude pour résister aux efforts dirigés suivant leur axe. Aussi, pour rendre possible cet essai de résistance, la Société Italienne

des Tuyaux Togni (qui a construit les trois conduites ondulées mises en exercice) étudia un type spécial de presse d'essai qui répondit parfaitement au but cherché. En fait cette presse permit d'essayer à peu près 300 tuyaux sans en abîmer un seul.

On a déjà précisé que le frettage de ces tuyaux consistait en une, ou deux, ou trois couches de fil d'acier à haute résistance, d'un diamètre variant, de demi en demi millimètre, de 4 jusqu'à 6 mm. Durant l'essai, un appareil amplificateur des déformations était monté sur le tuyau, afin de mesurer les augmentations de développement. On établissait ainsi, d'une façon analogue à ce qui avait été fait pour les chemises, le diagramme des déformations pendant la montée, puis la descente, de la pression.

Durant ces essais, en admettant une distribution uniforme de l'effort dans les diverses couches, la sollicitation du fil de blindage atteignait les 75 kg/mm².

On a constaté que la déformation est pratiquement indépendante du nombre des couches. A la pression d'essai, tous les tuyaux ont donné une déformation voisine de 16 mm. d'augmentation de développement, soit une augmentation de diamètre d'environ 5 mm. La déformation permanente, après le retour à zéro de la pression, ne dépassa jamais un millimètre.

Cette qualité de conserver une notable élasticité, même après le frettage, est, pour ces tuyaux, particulièrement précieuse. Si nous nous représentons, en effet, que dans l'ouvrage, entre le tuyau et le rocher, il existe une masse de béton capable de supporter les pressions d'exercice sans s'écraser sous la compression, donc capable de transmettre l'effort au rocher, nous nous rendons compte que ce rocher ne va pas permettre au tuyau de se déformer et qu'en conséquence c'est lui qui va se charger de la plus grande partie de l'effort. Le frettage ne travaillera donc pas autant que s'il était seul à résister. Il se produira en somme une répartition des efforts entre le rocher et le blindage. Une marge plus grande de sécurité sera obtenue par la possibilité pour le fil de se tendre davantage et pour le rocher d'intervenir plus énergiquement en cas d'augmentation de la déformation.

Dans la conduite de Mese, où précisément tous les tuyaux élastiques sont frettés, on n'a jamais eu le moindre inconvénient provoqué par la pression intérieure, bien que celle-ci atteigne les 76 atm. dans la partie inférieure.

MONTAGE.

Le montage des conduites élastiques est incontestablement un peu plus délicat que celui des conduites rigides normales. Ces tuyaux ont en effet des parois très minces, en comparaison des autres dimensions, qui sont habituellement considérables, et ils en demeurent quelque peu délicats ; ils ne supportent pas les heurts et, s'ils ne sont pas traités avec soin, ils peuvent facilement se déformer. Durant le transport, soit par les wagons des plans inclinés, soit par les téléférages, les tuyaux doivent reposer sur des supports bien conditionnés, surtout s'il s'agit de tuyaux frettés, parce qu'alors le poids augmente notablement. Dans les manœuvres de chargement et de déchargement, il faut éviter de façon absolue les chutes et les heurts ; il est donc nécessaire de faire usage de palans ou autres engins similaires.

La liaison d'un tuyau avec l'autre est une opération qui ne présente rien de particulier ; il s'agit d'un simple raccord à brides. Il faut seulement ne pas perdre de vue que les deux collerettes, qui viennent presser la garniture sous l'action du serrage des boulons, sont constituées par la même tôle mince qui forme les tuyaux, et qu'elles peuvent donc facilement se

déformer. C'est pourquoi, avant de procéder au serrage à fond des boulons pour écraser la garniture, il faut s'assurer avec soin que les tuyaux sont bien dans l'axe et que les brides appuient

toute évidence, le tuyau s'écraserait sous le poids du béton plastique. Cette opération ne constitue pas, comme on pourrait le croire, une grave complication. On peut en effet libérer les

Fig. 45. — Une tôle est transportée dans la conduite.

suivant tout leur pourtour contre les collerettes correspondantes.

Quand un tuyau est monté, il faut, avant de passer au montage du suivant, remplir de béton l'intervalle entre tuyau et

Fig. 47. — Comment se présente un tuyau écrasé par la pression extérieure.

étais trois ou quatre jours après le bétonnage et, en définitive, on n'aura guère plus de quatre ou cinq tuyaux étayés simultanément à l'intérieur.

Fig. 46. — La tôle est hissée vers le haut.

rocher, en disposant toutefois préalablement le système de drainage sur ce tronçon. Avant de jeter le béton, il faut encore étayer soigneusement le tuyau ondulé à l'intérieur, sinon, de

Fig. 48. — On élève la tôle de la calotte.

Les garnitures de plomb seront ensuite matées intérieurement.

Avec le dernier type de garniture adopté dans les conduites

de Rovesca et de Mese, le matage n'a plus une grande importance ; il ne sert plus à rendre la garniture étanche, du moment que celle-ci le devient sans autre en serrant à fond les boulons.

transport du béton ou de ses composants. Une bonne organisation, sur ce point, a une grande influence sur le coût du montage. Ce type de conduite ne peut d'ailleurs convenir qu'à des installa-

Fig. 49. — La tôle de la calotte est déjà presque en place.

Le matage ne sert plus en somme qu'à régulariser la garniture à l'intérieur et à en protéger le caoutchouc.

Un problème qu'il convient d'étudier à fond est celui du

Fig. 51. — Début de la soudure longitudinale.

tions importantes, où il s'agit toujours de transporter plusieurs milliers de mètres cubes de béton. Dans les trois installations exécutées, on a adopté chaque fois un système différent. A

Fig. 50. — La tôle est prête pour être soudée.

Fig. 52. — Réparation du radier. Une tôle est déjà en position, l'autre manque encore.

Pallanzeno, le béton était préparé dehors et il était conduit pneumatiquement à son poste, au moyen d'une machine appropriée. A Rovesca, le béton était transporté au moyen de wagonnets roulant sur un plan incliné. A Mese, on transportait pneumatiquement sur les lieux le ciment, le sable et le gravier, et c'est là que s'opérait le mélange avec l'eau. Le premier système a donné des résultats assez peu satisfaisants ; on a en particulier relevé des discontinuités dans la composition du béton. Avec les deux autres systèmes par contre les résultats furent excellents.

Il faut assurer au système de drainage le plus grand nombre possible de débouchés extérieurs, ce qui permettra d'augmenter d'autant le nombre des contrôles. Une rupture éventuelle ou, d'une façon générale, une perte quelconque de la conduite forcée, ne peut en effet être décelée que par les variations de débit du système de drainage. C'est pourquoi, il est très utile de pouvoir opérer d'opportuns sectionnements des tuyaux de drainage et de faire en sorte que ces tuyaux débouchent à l'extérieur dans des conditions qui facilitent une mesure exacte des débits.

Fig. 53. — Exécution d'un fretage sur place. On voit quelques faisceaux déjà en place ainsi que l'armature de soutien.

On peut dire que la rapidité du montage dépend presque exclusivement de la façon d'organiser les transports sur le chantier. Le montage lui-même dépend précisément de cette organisation. L'installation de Mese comprend, dans la partie inférieure, environ 200 mètres de conduite élastique presque horizontale, ensuite 1200 mètres de conduite remontant sous une inclinaison d'environ 35 degrés, enfin un puits vertical d'environ 80 mètres de hauteur. Avec l'organisation parfaite de ce chantier, le montage a progressé, après quelques jours de tâtonnements, à raison d'environ un tuyau par jour.

RÉSULTATS D'EXPÉRIENCE.

Dans ce paragraphe, j'exposerai les constatations faites au cours des essais et du fonctionnement dans les trois installations construites.

Dans l'installation de Pallanzeno, comme je l'ai déjà dit, on a eu des inconvénients avec le béton. On a rencontré des vides en contact avec le tuyau ; on a constaté qu'il s'était produit une séparation entre les composants du béton, ou encore que le béton avait fait une prise défectueuse. Des déformations de tuyaux se produisirent sur ces points au cours des essais à pression croissante, l'ampleur de ces déformations mesurant l'importance du défaut du béton. On eut beaucoup de peine aussi à rendre étanches les garnitures faites uniquement au plomb. De nombreux tuyaux de la conduite de Pallanzeno furent réparés en remplaçant les tôles déformées par des tôles neuves. Naturellement, avant d'appliquer la nouvelle tôle, on enlevait la partie défectueuse du béton et procédait à sa réfection. La tôle était ensuite appliquée, puis soudée à l'oxy-acétylène. L'opération fut toujours facile et de bonne réussite.

Un affaissement imprévisible de rocher provoqua à Pallanzeno la rupture de quatre tuyaux consécutifs. Ce fait, ajouté aux inconvénients des déformations susmentionnées, fit naître l'idée du fretage des tuyaux.

Toutefois, avant d'adopter définitivement le fretage, on fit une expérience en poussant jusqu'à la rupture un tuyau fretté, placé dans des conditions particulières. Dans le rapport cité plus haut, de M. l'ingénieur Marinoni, cette expérience est amplement décrite. Elle a démontré le bon fonctionnement du fretage et poussé à son adoption définitive.

Dans l'installation ultérieure de Rovesca, on fretta avec du fil d'acier à haute résistance, toute la partie haute de la conduite. Le fretage fut exécuté sur le chantier de montage avec des moyens de circonstance. Cette partie frettée de la

Fig. 54. — Les faisceaux de fretage avant l'application du revêtement qui servira d'appui aux tôles.

conduite ne donna jamais lieu à des inconvénients. La partie non frettée marqua, en outre, une amélioration notable par rapport à l'installation précédente.

Une obstruction complète des drainages, due à un manque d'attention du personnel chargé du montage, provoqua l'écrasement de trois tuyaux. Pour réparer, on enleva toutes les tôles déformées, on creusa le béton jusqu'aux drainages, on détourna la partie libre des deux drainages obstrués dans un troisième drainage complètement libre, on refit le béton et, pour finir, on appliqua de nouvelles tôles ondulées. L'ensemble se révéla sans défectuosité.

A un certain moment, on émit des doutes sur la résistance du rocher au droit d'un tronçon de la conduite située sous environ 65 atmosphères de pression, et dans lequel les tuyaux n'étaient pas frettés. On enleva complètement les tôles de

trois tuyaux consécutifs, on creusa le béton sur une profondeur d'environ 12 centimètres, on disposa une légère charpente métallique soutenant des faisceaux circulaires formés de fil d'acier à haute résistance, puis on noya complètement ces faisceaux dans une nouvelle application de béton, de façon à obtenir un blindage. On donna à la surface de ce béton la forme cylindrique exacte des tuyaux et on reconstitua entièrement ces derniers avec de nouvelles tôles soudées sur place. Cette opération réussit aussi complètement.

Dans la dernière installation de Mese, on déplora aussi un mauvais fonctionnement du système de drainage. Au début, les drainages fonctionnaient très bien, mais à la longue, ils commencèrent à s'obstruer avec des dépôts calcaires laissés par l'eau drainée. Lors d'un vidage de la conduite, exécuté peut-être un peu trop rapidement, les drainages ne permirent pas une évacuation suffisamment rapide de l'eau accumulée entre les tuyaux et le béton et il en résulta l'écrasement de quelques tuyaux. Là encore, on procéda à la réparation avec le système habituel de la réfection partielle des tuyaux avec, de nouvelles tôles. Mais comme il s'agissait de tuyaux frettés, on dut prendre des précautions spéciales pour les soudures afin de ne pas altérer les qualités du fil de frettage venant en contact avec les tôles. En fait, tout réussit parfaitement.

Dans les figures 45 à 54 sont représentées quelques phases particulières de ces diverses réparations.

J'ai eu l'occasion de m'occuper de toutes ces réparations, sur ces diverses installations, et ce qui m'a le plus frappé, c'est la facilité relative avec laquelle on put réparer ces conduites. Naturellement, cette opération ne doit pas être confiée à qui

que ce soit ; toutefois, pendant le cours même de la réparation, on acquiert une première certitude sur la réussite. Le résultat fut d'ailleurs toujours parfait.

Pour conclure, je dirai que le système des conduites élastiques constitue un essai très ingénieux et très intéressant. La somme de ses avantages est considérable et les inconvénients, qui se sont manifestés dans les trois grandes installations construites, sont peu nombreux et tous parfaitement remédiables. Au lieu donc d'exclure ce système, il convient de le reprendre, et mieux encore, de le poursuivre. Il y a de nombreux cas, dans les installations à réaliser, pour lesquels l'adoption des conduites élastiques apporterait une notable simplification du problème de la conduite forcée.

Avec une bonne organisation de chantier et de larges moyens d'action, ce système doit procurer une économie dans le coût de l'installation. Il apportera aussi, s'il est bien exécuté, une amélioration notable du rendement et une économie dans l'exercice.

Il eût été presque inutile de faire mention de ce type de conduite, si l'on n'avait pas pu citer les installations dans lesquelles il fut adopté, les inconvénients constatés, les réparations exécutées. C'est pourquoi, je remercie sincèrement la Société Générale Italienne Edison d'Électricité, la Société Électrique Interrégionale Cisalpine et l'ingénieur Pietro Marinoni, pour m'avoir aimablement autorisé à citer les expériences des conduites de Pallanzeno, de Rovesca et de Mese, auxquelles j'ai collaboré.

Traduit de l'« Energia Elettrica » par

Marc MARGUERAT, Ingénieur.

Adduction des eaux de la source d'Ain-el-Delbeh pour l'alimentation de la banlieue de Beyrouth (Liban)

par ARIE VISSER (Ingénieur Hydraulicien)

Beyrouth, ville de près de 200.000 habitants, est le port d'émigration de la Syrie. C'est à Beyrouth que s'embarquent les pèlerins mahométans de toute la Syrie, de Mésopotamie, de Perse et même d'Afghanistan qui vont à La Mecque, en Arabie. La Syrie, cette terre classique, se réveille d'un sommeil de plomb qui a duré pendant des siècles. N'oublions pas que le berceau de l'humanité se trouvait dans ces parages. Le climat y est délicieux au printemps et en automne. Pendant les grandes chaleurs de l'été, des touristes, arrivés de l'Égypte, de Palestine et de la côte Syrienne, viennent passer leurs vacances dans les montagnes à l'est de Beyrouth.

Les charmes multiples du Liban ne sont pas très connus. En arrivant avec le vapeur, le panorama de la ville de Beyrouth se déroule devant le spectateur ravi, car sa beauté n'est pas inférieure à celle de Naples et de son golfe célèbre. Au premier plan, les eaux bleues de la Méditerranée, la baie de Saint-Georges autour de laquelle se groupe Beyrouth, ville de caractère oriental avec ses maisons blanches, ses rues étroites, éclairées par un soleil impitoyable en été, projetant des ombres violettes. On fait le commerce dans les rues, où des fruits de toutes sortes sont entassés, surtout ces belles oranges du Proche-Orient, avec des étals de viande et de volaille, et où les artisans exercent leur métier.

Des contrastes remarquables caractérisent la vie orientale. Les automobiles les plus modernes passent auprès de cavaliers montés sur des ânes ; des femmes du monde, et des Bédouines pieds nus, pantalon large, marchant la tête haute, pleine de grâce, se rencontrent dans les rues et sur la grande route de Damas, dont la construction admirable a été terminée dans les dernières années, sous le Gouvernement français.

Les montagnes, avec leurs sommets chauves, possèdent une grande beauté. Les couleurs gris ou rouille de fer s'harmonisent si bien avec un ciel presque toujours bleu sur lequel se dessine à l'arrière-plan, la cime neigeuse du mont Hermon. Il n'est rien de saisissant comme une vue sur cette montagne du côté du Liban ou de la plaine de Bekaa.

Pendant leur occupation, les Turcs ont exploité le pays d'une façon rigoureuse. Les grandes forêts de cèdres du Liban, mentionnées dans la Bible, ont été abattues. Il faudrait reboiser ces montagnes, comme en Palestine, pour améliorer la précipitation atmosphérique, car il y a un cercle vicieux entre les montagnes chauves, la sécheresse et la stérilité ; cela ajouterait à la gloire du Gouvernement français, qui a déjà fait tant de bien pour ce pays : développé le commerce, organisé la police, créé un réseau de routes admirables de centaines de kilomètres, etc.