LES TENDANCES NOUVELLES

NEW TRENDS

G. FERRAND,

Président Directeur Général
de la Société Dauphinoise d'Etudes et de Montages

English synopsis p. 224

C'est sous ce titre qu'en 1922, quatre ans après la fin de la guerre 1914-1918, l'éminent ingénieur hydraulicien qu'était Auguste BOUCHAYER, présentait au Congrès scientifique international de Liège un mémoire dans lequel il faisait le point de la technique des conduites forcées.

Il constatait les progrès réalisés dans la construction des tuyaux au cours des années précédentes, par la mise en œuvre des « tuyaux à rivures spéciales » système G. F., des tuyaux soudés au gaz à l'eau, et l'emploi, dans certains cas, de tuyaux forgés sans soudure.

A cette époque les constructeurs de conduites forcées s'efforçaient déjà de réaliser des économies importantes de métal en vue d'améliorer le prix de revient du kilowatt installé. Ils s'orientaient pour cela vers l'amélioration du coefficient de résistance des assemblages (rivés ou soudés) et la réduction du nombre de conduites sur les hautes chutes puissantes. Ils augmentaient les moyens de fabrication de leurs ateliers, en vue de souder des épaisseurs de plus en plus fortes. Cependant, malgré leur désir et leur bonne volonté, les moyens dont ils disposaient à cette époque ne leur permettaient guère d'aller très loin dans cette voie. C'est ainsi qu'avec les possibilités des tuyaux soudés au gaz à l'eau, on ne put moins faire que d'installer sept conduites sur la chute d'Eget, 750 m., débit total 5,3 m³/sec., alors qu'aujourd'hui sur la chute de Malgovert, 750 m., débit total 50 m³/sec., on installe deux conduites seulement.

Nous avons pensé qu'en 1948, quatre ans après la dernière guerre, il était indiqué de faire le point de la même question, d'autant plus que depuis 1922, la technique des conduites forcées a subi une transformation et une évolution véritablement sensationnelles ⁽¹⁾.

C'est d'abord en 1928 qu'apparaissent les tuyaux auto-frettés système G. F. qui remplaceront les tuyaux soudés au gaz à l'eau de fortes épaisseurs. La construction des tuyaux soudés au gaz à l'eau de fortes épaisseurs devenait en effet une gageure lorsqu'on atteignait une certaine limite, du fait des difficultés d'exécution, et parce que l'on constatait au fur et à mesure que l'épaisseur augmentait, une diminution du coefficient réel de résistance. De ce fait, à partir d'un certain point, le supplément d'épaisseur était donné au détriment du coefficient de sécurité.

Au début de leur emploi, les tuyaux auto-frettés se fabriquaient en partant de tuyaux soudés au gaz à l'eau de faible ou moyenne épaisseur ; les frettes étaient en acier à haute résistance, laminées, monoblocs et traitées.

Puis c'est la mise en œuvre de la soudure à l'arc électrique à l'aide d'électrodes enrobées, dont la technique, au point depuis 1930 en Amérique, permettait d'obtenir sur la soudure elle-même des caractéristiques mécaniques équivalentes à celles du métal de base, et cela même pour la soudure d'aciers demi-durs et spéciaux à 60 kg./mm². Avant cela, la soudure par recouvrement sans métal d'apport, au gaz à l'eau, constituait le critérium de l'art de souder les corps creux. La soudure ne se concevait d'ailleurs que sur des aciers à 40 kg./mm².

(1) Pour la parfaite compréhension de ce qui suit, nous prions le lecteur de bien vouloir se reporter à la documentation suivante :
S.D.E.M. — Conduites forcées. — Conditions techniques d'établissement. — Edition 1927.

E.B.V. et S.D.E.M. — Conduites forcées. — Technique 1941.
G. FERRAND — La conduite forcée de la BISSORTE
» — A propos de l'aménagement hydro-
électrique du VENEON.
» — Chute d'Aussois. — Essais sur tuyaux auto-
frettés à fretage souple.
» — Association Internationale des Ponts et
Charpentiers. — Structure de la conduite
forcée unique pour hautes chutes à
grande puissance.

Tuyau auto-fretté à frettage rigide de la conduite aérienne du Portillon.

(Cliché S. D. E. M.)

En 1930, lors d'un voyage que nous fîmes aux Etats-Unis, nous constatâmes que les constructeurs américains abandonnaient la soudure au gaz à l'eau au profit de la soudure électrique. C'est aussi ce que firent quelques années plus tard les Etablissements Bouchayer et Viallet.

C'est la possibilité de souder à l'arc électrique des aciers à haute limite élastique, qui a permis la naissance des tuyaux surpressés et une amélioration très importante dans la construction des tuyaux auto-frettés.

En fait, on ne construit plus de tuyaux rivés ni de tuyaux soudés au gaz à l'eau. On s'en tient exclusivement aux tuyaux soudés à l'arc électrique en tôle d'acier à 50 ou 60 kg./mm² ; la nuance à 40 kg./mm² elle-même, ne s'emploie plus que très rarement et pour des cas spéciaux.

Avec les tuyaux soudés à l'arc électrique on construit actuellement des tuyaux surpressés à 2 %, des tuyaux auto-frettés et surpressés, auto-frettés à frettage rigide, en frettes individuelles monoblocs à limite élastique 70 et 95 kg./mm²,

des tuyaux auto-frettés et surpressés, auto-frettés à frettage souple, soit en frettes individuelles à élingues en fils câblés, soit en câble à enroulement hélicoïdal. Ces frettes et ces câbles sont en fils d'acier anti-corrosif (galvanisé) à 200 kg./mm², ce qui représente la limite de ce que l'on peut obtenir actuellement au tréfilage sur des fils de 2 à 3 mm. Disons en passant que les tuyaux auto-frettés à frettage souple ne remplacent pas les tuyaux auto-frettés à frettage rigide à partir d'une certaine limite ; mais ils permettent en général l'emploi de tuyaux auto-frettés aux lieu et place de tuyaux soudés, dans les zones moyennes et supérieures des conduites où l'emploi des tuyaux auto-frettés à frettes rigides est onéreux ou impossible pour des raisons de fabrication.

Les tuyaux auto-frettés à frettage par câble et enroulement hélicoïdal s'emploient surtout sur les conduites protégées, enterrées ou en galerie. Ils sont toujours du « type de sécurité » dont la paroi peut résister seule à la pression maximum

La soudure automatique « Union Melt » sur un tuyau de la conduite d'Aussois.
(Cliché Photopress, Grenoble).

de marche sous coefficient de sécurité évidemment réduit, mais acceptable cependant à titre provisoire.

Depuis peu de temps on envisage l'emploi de ce type de tuyaux sur les conduites aériennes, à la suite d'une mise au point consistant à immobiliser les spires en des points intermédiaires, entre les extrémités des tuyaux élémentaires, par le procédé employé pour l'arrêt des câbles à leurs extrémités. On limite ainsi à ce que l'on veut la longueur de déroulement accidentel des câbles.

Les aménagements sous des chutes à grandes réserves hydrauliques et à grande puissance installée, devenant de plus en plus nécessaires, se réalisent et se projettent en grand nombre pour des puissances de plus en plus grandes. En 1932, c'est la Bissorte, 1.200 m., 100.000 CV ; en 1948, c'est Malgovert, 750 m., 400.000 CV, et en 1950 ce sera probablement Roselend, 1.200 m., 600.000 CV.

La puissance maximum de la « conduite unique » sous haute chute qu'il est possible d'aménager actuellement, dépend de la puissance des presses hydrauliques utilisées pour l'auto-frettage et de l'épreuve des tuyaux qui est de 7.000 tonnes pour la nouvelle presse des Etablissements Bouchayer et Viallet. L'utilisation de celle-ci permet de construire des conduites capables de fournir 250.000 CV en conduite aérienne et 500.000 CV en conduite souterraine en galerie blindée.

Cela se traduit par :

$$\left. \begin{aligned} H &= 3 \text{ m. } 00 \text{ — } Q = 55 \text{ m}^3/\text{s.} \\ H &= 1 \text{ m. } 50 \text{ — } Q = 13 \text{ m}^3/\text{s.} \end{aligned} \right\}$$

H étant la hauteur de chute brute.

La mise en place de dispositifs spéciaux peu onéreux sur cette presse, permettrait d'en augmenter considérablement les possibilités. Mais à quoi cela servirait-il, puisque les pièces de bifurcation en acier moulé des collecteurs de distribution seraient actuellement impossible à construire par les Aciéries, ce que nous avons pu vérifier à l'occasion des études faites pour Malgovert, Roselend et Cap de Long.

Soulignons en passant, qu'en 1948, une des deux conduites de Malgovert, poids 2.200 tonnes, remplacera cinq groupes de sept conduites d'Eget dont il a été question plus haut. Le poids des sept conduites d'Eget étant de 2.450 tonnes, il s'ensuit que l'aménagement de Malgovert

Tuyaux surpressés.
Conduite aérienne de la chute de Santa-Luzia (Portugal).
(Cliché S. D. E. M.)

$$\left. \begin{aligned} H &= 435 \text{ m. (conduite aérienne)} \\ H &= 870 \text{ m. (conduite souterraine)} \\ H &= 1.750 \text{ m. (conduite aérienne)} \end{aligned} \right\}$$

suivant la technique de 1922, aurait nécessité un tonnage de conduites égal à 5,5 fois le tonnage de 1948.

La tendance « conduite unique » prend dans l'économie des grands aménagements hydrauliques, une importance de plus en plus considérable et son utilisation en galerie blindée peut économiquement se justifier aujourd'hui en dehors de nécessités techniques ou militaires, lorsqu'elle peut remplacer deux conduites aériennes.

Rappelons à ce sujet que sur les conduites en galerie blindée, l'emploi des tuyaux auto-frettés à frettage souple est particulièrement avanta-

Tuyau auto-fretté à frettage souple à frettes individuelles en élingues à fils câblés
de la conduite aérienne d'Aussois.

(Cliché Photopress, Grenoble).

Fig. 9

Fig. 10

geux. Dans ce cas la pression de frettage est au moins égale à la pression maximum de marche, ce qui revient à dire que si pour une cause quelconque, le rocher n'intervenait pas dans la résistance de l'ouvrage, le coefficient de sécurité réel n'en serait pas moins supérieur à 1 par rapport à E. D'autre part on sait que ce genre de tuyaux a une aptitude particulière à résister aux pressions extérieures qui peuvent toujours se manifester au moment d'une vidange.

Qui dit conduites à grande puissance dit conduites à grand diamètre, où l'on peut admettre de grandes vitesses sans pertes de charges excessives. Aussi sur les conduites à haute chute et grande puissance, admet-on maintenant des vitesses allant jusqu'à 8 mètres, alors que jadis des vitesses de 4 à 5 mètres étaient des maxima.

L'admission d'aussi grandes vitesses nécessite des dispositions particulières pour la construction des pièces de bifurcation des collecteurs où le système de « culottes à grand rendement hydraulique », système G. F., trouve logiquement son emploi. On a de ce fait des tendances à généraliser l'emploi des collecteurs de distribution

« type Arly » prévu sur les collecteurs de distribution des conduites de Malgovert (Fig 9 et 10).

Auguste BOUCHAYER, en 1922, prenait parti pour les conduites enterrées. En 1927, nous conseillions nous-mêmes d'enterrer les conduites lorsque cela était possible.

Depuis cette époque cependant, les conditions d'établissement, de fonctionnement et la structure des conduites forcées ont profondément évolué, particulièrement en hautes chutes. La conduite aérienne moderne d'Aussois, par exemple, est complètement différente de l'ancienne conduite enterrée des Sept-Laux ; ce qui paraissait alors indiqué pour les anciennes conduites de faibles et moyens diamètres, ne l'est plus maintenant pour les conduites modernes de grands diamètres. Aussi notre point de vue actuel est-il différent de celui de 1927.

Nous recommandons en effet, et particulièrement pour les conduites forcées à grande puissance sous hautes chutes, l'aménagement en conduite aérienne toutes les fois que la chose est possible et que l'on n'est pas tenu de les enterrer en vue de leur protection contre les éléments extérieurs. Par conduite aérienne, nous entendons une conduite visible et extérieurement accessible, ce qui est aussi le cas des conduites en galerie.

Pour l'aménagement des conduites de grand diamètre, on envisage souvent maintenant le dispositif d'installation en galerie blindée, que nous recommandons (quand il ne s'impose pas, pour des raisons techniques ou militaires) lorsqu'on se trouve en présence d'une roche impeccable et qu'il soit plus économique que le dispositif aérien, compte tenu de ce que sous l'effet de la pression maximum de service, la

Tuyau auto-fretté à frettage souple en câble à enroulement hélicoïdal
de la conduite enterrée de l'Arvan.

(Cliché Photopress, Grenoble)

Tuyaux auto-frettés câblés de la conduite de l'Arvan. Type à double sécurité.
Vue montrant les arrêts d'extrémités des câbles.

(Cliché S. D. E. M.)

fatigue de l'acier utilisé soit au plus égale à sa limite élastique, abstraction faite de la participation du rocher à la résistance.

En 1927 également, nous recommandions la méthode dite « française » pour l'installation des conduites aériennes, consistant à supprimer les joints de dilatation entre les ancrages, placés eux-mêmes en dehors des coudes, ainsi libres.

Les nombreuses réalisations faites ainsi depuis cette époque et l'expérience acquise n'ont pas modifié notre opinion ; elles l'ont au contraire renforcée. Nous continuerons à déconseiller l'emploi des joints de dilatation, même lorsqu'il s'agit de conduites auto-frettées où les coudes sont obligatoirement ancrés quand l'épaisseur de la paroi est insuffisante pour supporter les efforts longitudinaux dus à la pression hydraulique, ce qui est le cas général, sauf pour les collecteurs. Pour ceux-ci au contraire nous préconisons de plus en plus le blocage dans un

massif faisant corps avec les fondations de la centrale, en vue d'éviter absolument tout déplacement relatif des collecteurs par rapport aux turbines, ce qui devient indispensable avec les groupes modernes de très grande puissance.

De même nous continuerons à préconiser la liberté des coudes entre les ancrages lorsqu'il s'agit de tuyaux ordinaires non renforcés. Au sujet de la question des ancrages et raccords des conduites installées selon la méthode dite « française », il est intéressant de mentionner la démonstration que nous avons faite récemment sur la conduite forcée de l'importante chute d'Aston (Ariège). Cette conduite, $\varnothing = 1 \text{ m. } 50$, $Q = 8,3 \text{ m}^3/\text{sec.}$, $H = 513 \text{ m.}$, est constituée, pour $2/3$, de tuyaux auto-frettés à coudes et collecteur ancrés et pour $1/3$, de tuyaux soudés ordinaires à ancrages hors coudes. Dès la fin du montage nous fîmes exécuter tous les raccords et bloquer tous les ancrages. La conduite resta vide pendant plus d'un

Tuyaux auto-frettés câblés de la conduite de l'Arvan. Type à double sécurité.
Vue montrant un arrêt intermédiaire du câble.

Conduite enterrée en cours de montage et avant remblaiement.

Conduite aérienne en cours de montage.

(Cliché S. D. E. M.)

an, exposée en hiver à des températures atteignant -18° et en été à des températures atteignant $+50^{\circ}$. On constata à certains moments dans la partie de conduite où les coudes étaient libres, des soulèvements au-dessus de certains piliers, de l'ordre de 20 cm. Cependant après cette épreuve exceptionnellement dure on ne constata à la mise en service aucun défaut d'étanchéité, aucune trace de fatigue anormale et aucune fissure ou détérioration quelconque des massifs d'ancrage ou des piliers-supports.

rendaient particulièrement rigides et aptes à se bien comporter, sans avoir à prendre de précautions dans les opérations de montage, bétonnage et injections.

L'expérience a montré que si l'on pouvait à la rigueur envisager sur des conduites analogues un réseau d'armatures extérieures moins important, les dispositions adoptées à Génissiat étaient nécessaires et parfaitement justifiées. D'ailleurs les conduites de même diamètre du barrage de Chastang, actuellement en cours de montage, sont construites sur le même principe de très grande rigidité, seules les cerces extérieures qui ceinturent les tuyaux sont un peu moins importantes que celles qui ceinturent les tuyaux de Génissiat.

L'une des 6 conduites de Génissiat en cours de montage (actuellement noyées dans le barrage).

(Cliché S. D. E. M.)

Nous ne voudrions pas terminer cet exposé sans parler des conduites de Génissiat, entièrement noyées dans le barrage. A l'inverse de ce qui avait été fait au barrage de l'Aigle, où les conduites ont donné des déboires du fait de leur absence complète de rigidité, les conduites de Génissiat ont été renforcées extérieurement par des armatures très importantes qui les

Et maintenant terminons en formulant le vœu que d'autres aient à leur tour — comme nous venons de le faire nous-mêmes après Auguste BOUCHAYER qui fut notre Maître — l'occasion, sous la même rubrique, d'avoir beaucoup à dire. Ce sera la preuve qu'ils auront bien porté le flambeau que nous avons pris de ses mains et qu'ils auront à prendre un jour, des nôtres.