

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 90 (1998)
Heft: 3-4

Artikel: Le puits blindé et le répartiteur
Autor: Ribordy, Léonard
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-939383>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 10.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Le puits blindé et le répartiteur de l'aménagement Cleuson-Dixence

Léonard Ribordy

1. Introduction

Entre autres défis, l'aménagement Cleuson-Dixence se distingue par un puits blindé haute chute qui se développe sur une longueur d'environ 4000 m, entre la tête du puits située à Tracouet au pied de la Dent de Nendaz et la plaine du Rhône, au niveau de la nouvelle usine de Bieudron. La dénivellation entre les deux extrémités du puits est de 1674 m. La pente du puits varie de 30 à 68 %. La chute statique maximale est de 1883 m (figures 1 à 4).

La pression totale exercée à barrage plein, compte tenu de l'effet de bâlier au niveau des turbines, s'élève à 2067 mCE et le débit nominal à pleine charge est de 75 m³/s. Un débit de 75 m³/s sous une charge de plus de 200 bars constitue un record mondial. Cette combinaison débit-pression exceptionnelle a conduit les projeteurs à définir les bases fondamentales permettant de réaliser cet ouvrage dans les meilleures conditions techniques et commerciales.

Le dimensionnement de cet ouvrage a été soumis à des conditions précises

- Il fallait définir le diamètre optimum de la conduite pour conserver des parois d'épaisseurs raisonnables malgré les pressions considérables qu'elles devaient supporter;
- au vu de l'extrême hétérogénéité et des très médiocres caractéristiques des horizons géologiques traversés, aucune participation du rocher ne devait être prise en compte dans la résistance du système: le blindage étant

auto-porteur et l'enrobage de béton ayant comme fonctions principales la protection mécanique et chimique du manteau des viroles;

- il fallait définir le diamètre optimum des conduites pour réduire au maximum les pertes de charge;
- une autre exigence était que la conduite résiste à une pression extérieure correspondant d'une part, à la différence de niveau entre deux fenêtres, et d'autre part, au passage des fenêtres, à une hauteur de recouvrement correspondant à la hauteur du terrain.

2. Le projet du puits blindé de Cleuson-Dixence

Profil en long

Sur la base du profil en long, le diamètre maximum (Φ_{max}) a été défini de manière à conserver une épaisseur des aciers raisonnable, compatible avec les exigences d'exécution des soudures du puits.

En fait, c'est le produit pression diamètre ($p \times D$) qui a été fixé d'emblée, pour des raisons constructives. L'épaisseur de la paroi la plus sollicitée est de 66 mm pour un diamètre de 3,00 m.

L'exécution de la foration du puits au tunnelier étant réalisée en diamètre constant, la variation du diamètre des viroles n'est possible que dans les étroites limites du gabarit d'espace libre disponible.

Pertes de charge

Afin de réduire les pertes de charge, dans le gabarit d'excavation disponible, le compromis conduit à retenir, dans la partie basse du puits un diamètre de 3,00 m, puis un diamètre de 3,20 m dans la partie médiane pour atteindre finalement 3,40 m dans le haut du puits.

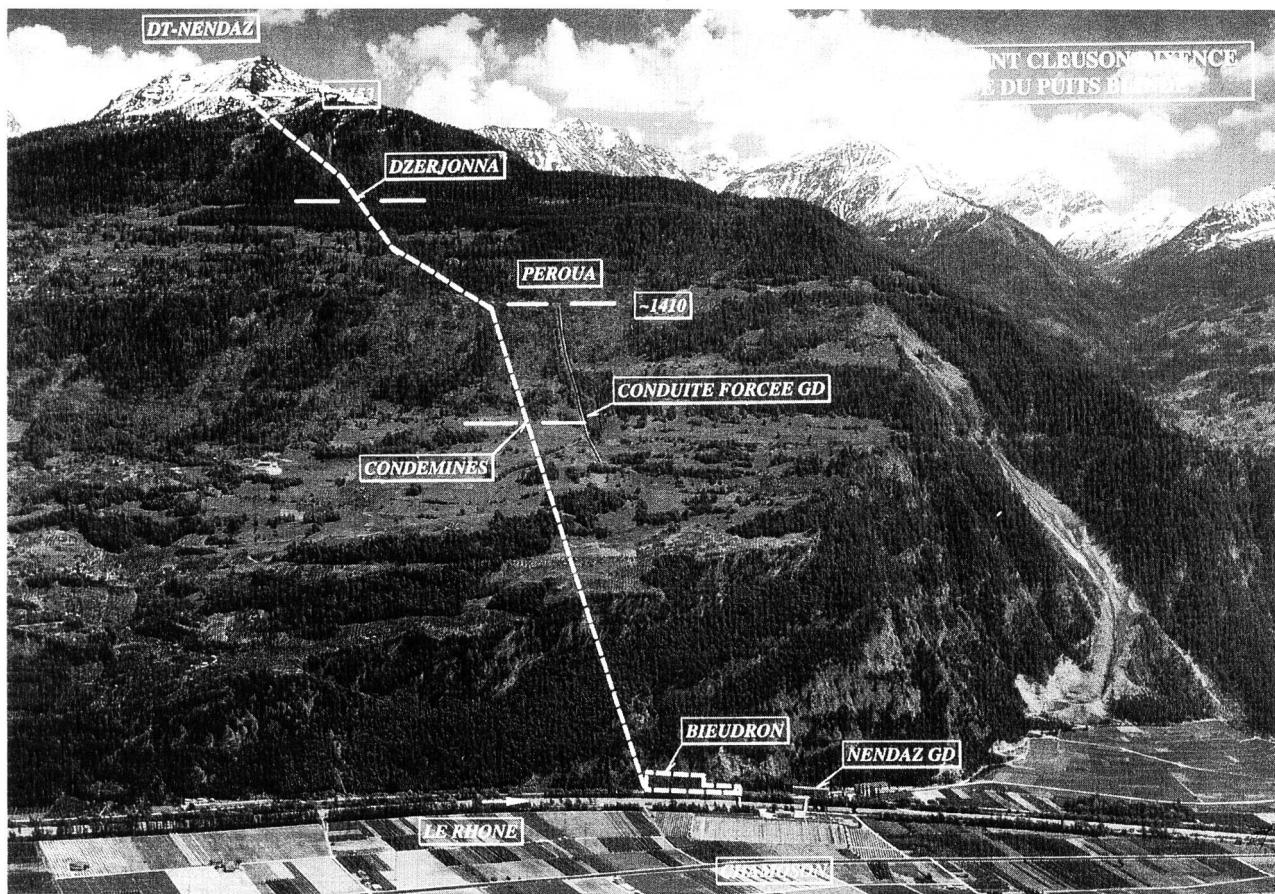


Figure 1. Perspective du puits blindé.

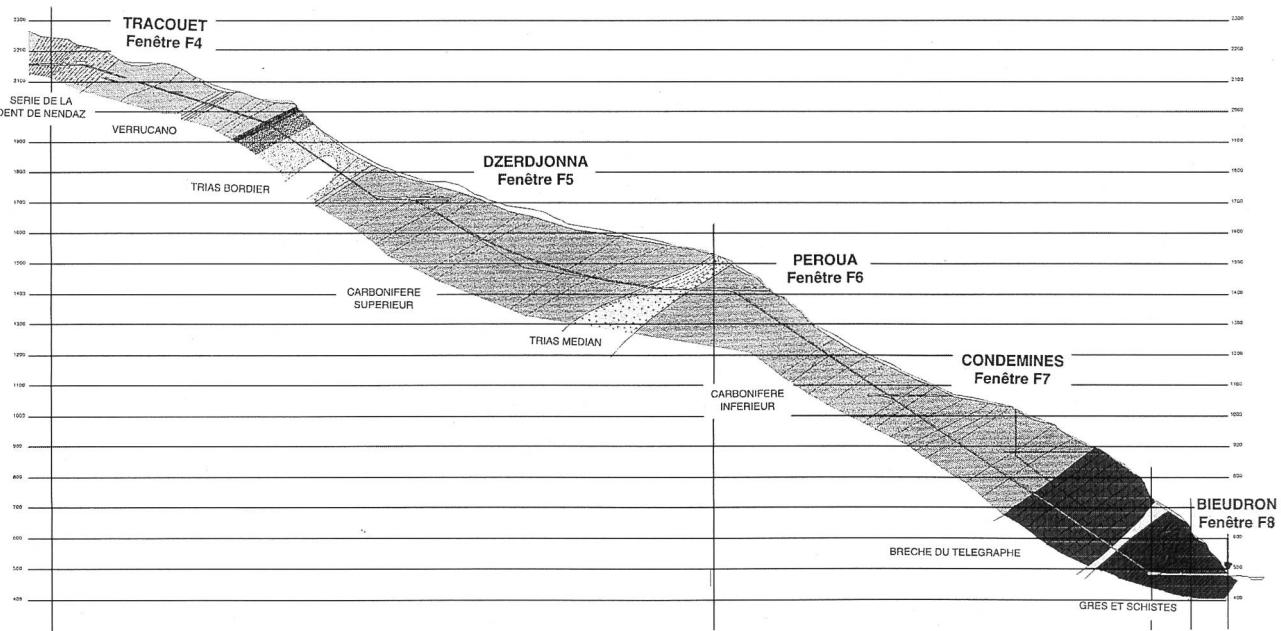


Figure 2. Profil en long géologique du puits blindé.

De la tête du puits à sa base, à pression et débit maxima ($75 \text{ m}^3/\text{s}$), la vitesse de l'eau passe de 8,3 à 10,6 m/s ce qui induit pour le puits, 56 m de pertes de charge pour une valeur totale de 98 m pour l'ensemble des galeries, de la prise d'eau au répartiteur.

On constate ainsi que le puits blindé, représente à lui seul près de 60 % des pertes de charge de l'ensemble du système, d'où l'importance du choix des diamètres, définissant pour un débit donné, la vitesse et la perte de charge correspondantes.

Le choix des aciers

Pour la base du puits soumise aux sollicitations les plus fortes, les projeteurs ont longtemps hésité entre deux solutions:

- tuyaux frettés qui avaient déjà été utilisés par Grande-Dixence,
- ou aciers spéciaux pour lesquels on n'avait pas ou peu d'expérience.

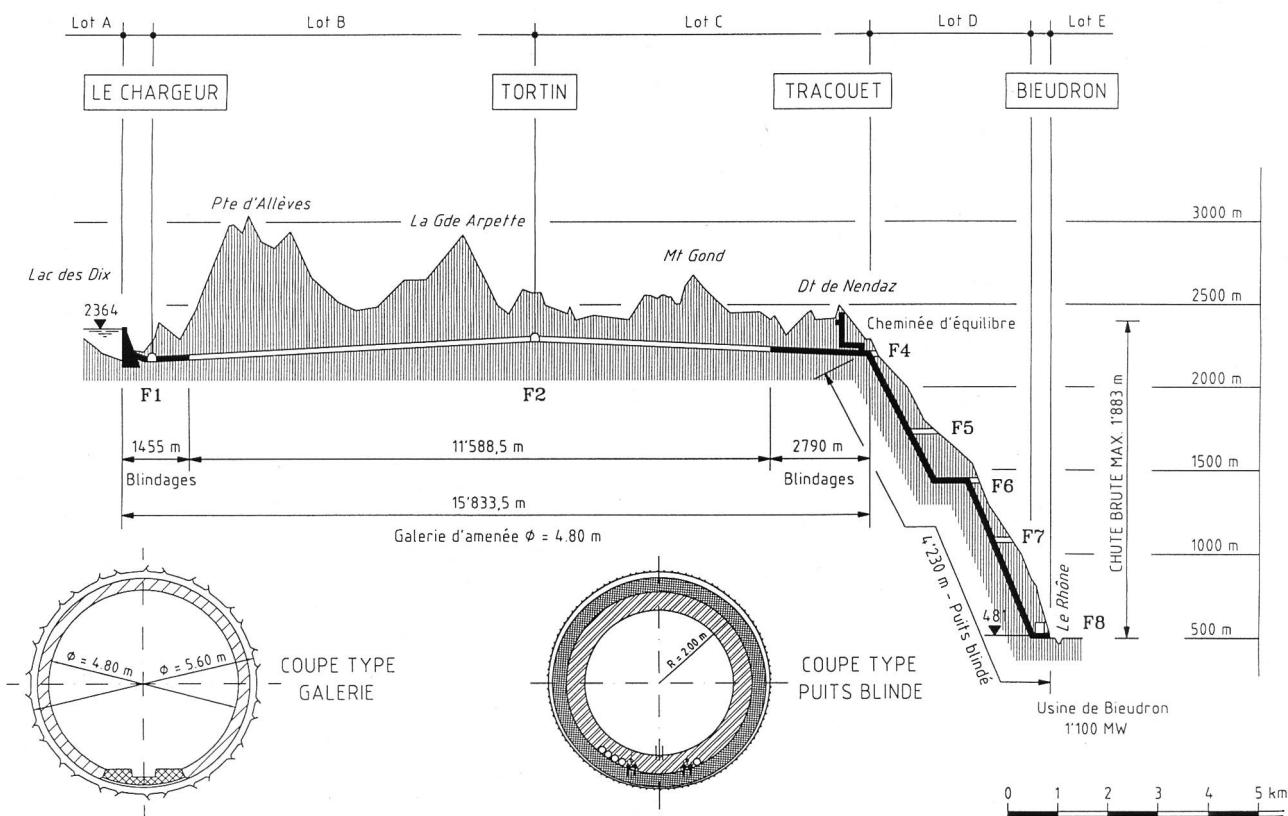


Figure 3. Profil en long général de l'aménagement Cleuson-Dixence.

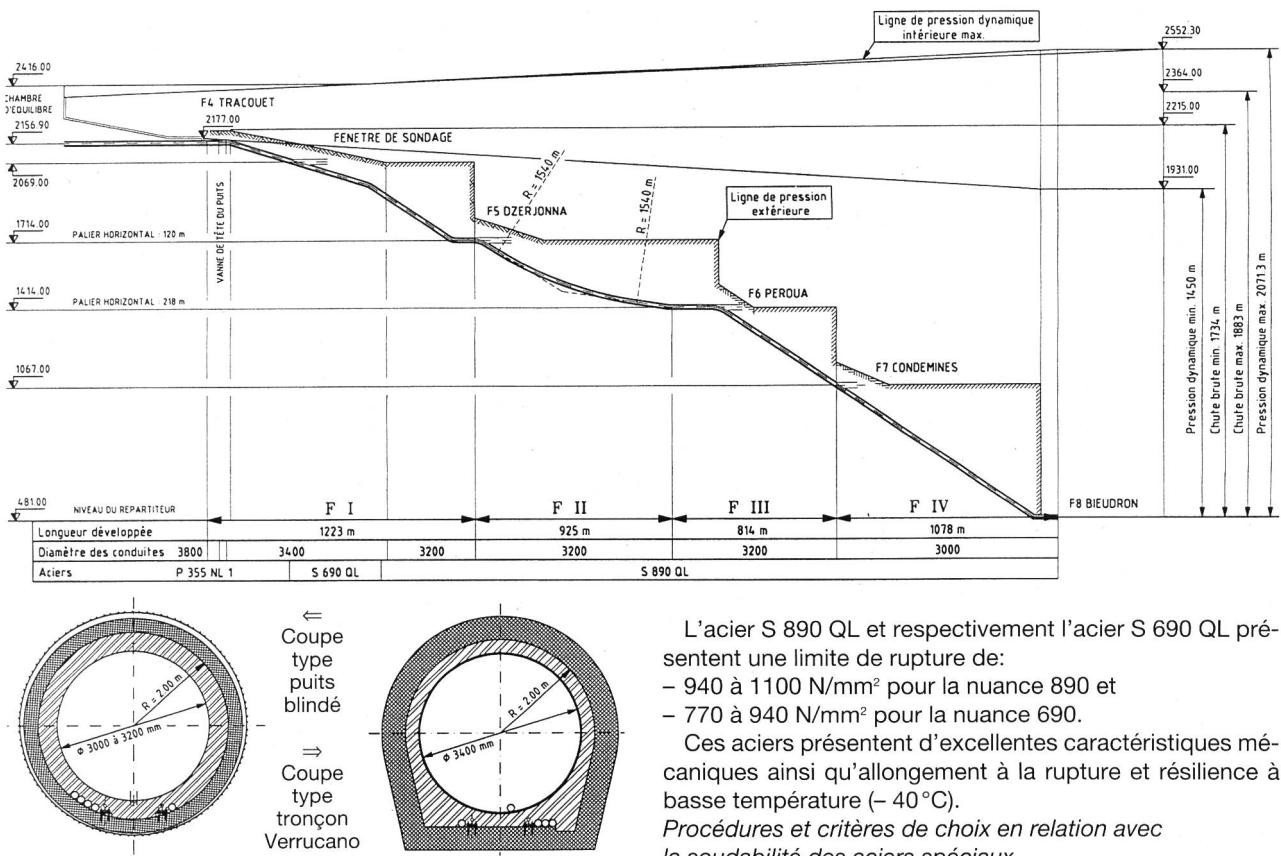


Figure 4. Profil en long des blindages du puits.

Tuyaux frettés

Les projeteurs avaient, depuis les premières études du projet, gardé en réserve la possibilité de réaliser une partie de cet ouvrage en tuyaux frettés, méthode ancienne mais éprouvée pour réaliser des conduites soumises à très haute pression. Une variante, avec ce procédé, a été mise en soumission, mais abandonnée quand la preuve a été apportée que l'exécution de l'ouvrage était possible en aciers trempé-revenu à très haute limite élastique.

Tuyaux en aciers à hautes performances

L'utilisation des aciers à haute résistance n'est pas une nouveauté dans le blindage des puits. Un acier allié du type T1 a été utilisé dans le passé, par exemple lors de la construction de la conduite forcée de Grande-Dixence; celui-ci donna toutefois beaucoup de soucis aux constructeurs lors des opérations de soudure.

Les aciereries ont beaucoup progressé dans l'élaboration d'aciers nouveaux du type trempé-revenu ayant des caractéristiques mécaniques très élevées et conservant une bonne soudabilité, même en fortes épaisseurs. On parle en particulier des aciers du type S 890 QL et S 690 QL.

Alors que l'acier de qualité S 690 QL avait déjà fait ses preuves pour ce genre de construction, l'acier de la nuance supérieure, S 890 QL (lim de rupture située entre 940 et 1100 N/mm²) en fortes épaisseurs, n'avait jamais été mis en œuvre pour ce type d'ouvrage.

Les premiers essais en laboratoire sur l'acier S 890 QL ont confirmé que la soudabilité était bonne, à condition de respecter des paramètres de soudure très précis.

Le 80 % du puits blindé de Cleuson-Dixence a donc été réalisé en acier S 890 QL et le 10 % en acier S 690 QL, le reste étant fait en acier classique de la nuance StE 355.

L'acier S 890 QL et respectivement l'acier S 690 QL présentent une limite de rupture de:

- 940 à 1100 N/mm² pour la nuance 890 et
- 770 à 940 N/mm² pour la nuance 690.

Ces aciers présentent d'excellentes caractéristiques mécaniques ainsi qu'allongement à la rupture et résilience à basse température (- 40 °C).

Procédures et critères de choix en relation avec la soudabilité des aciers spéciaux

L'utilisation d'un acier de la nuance S 890 QL, en fortes épaisseurs, nécessite des précautions particulières.

Afin d'obtenir toutes les garanties nécessaires, on décida de procéder à une série complète de tests allant de l'audit des aciereries, aux essais sur échantillons, à la définition précise des paramètres de soudure suivant les systèmes choisis (arc submersé, électrodes, semi-automate et automate). La procédure a été étendue à la réalisation grandeur nature de viroles roulées, soudées, puis assemblées en tubes.

L'expérimentation a été étendue à l'application du revêtement anticorrosion. Elle permit de définir en particulier, le degré de rugosité optimum, la résistance de la protection à l'arrachement et le comportement de la peinture en fonction de gradient de température mesuré lors de l'expérimentation, pendant les opérations de préchauffage et de soudure.

L'institut de soudure (IS) à Paris a été chargé d'adapter les conditions de soudage au risque de fissuration à froid encouru lors de la mise en œuvre des aciers S 890 QL en provenance de diverses aciereries.

- On procéda au dosage de la teneur en hydrogène diffusible déterminé pour trois produits d'apport mis en œuvre par trois procédés de soudage différents retenus pour les différentes phases de la fabrication.
- On détermina par la méthode des implants, les conditions limites de pré- et de postchauffage.
- On vérifia, au moyen d'essais Tekken la bonne tenue, à l'égard de la fissuration à froid, des zones fondues de première passe produites par les produits d'apport choisis, dans les conditions limites de pré- et de postchauffage, préalablement déterminées, pour le métal de base.
- Pour l'acier le plus trempant, on établit le tracé de la courbe, dureté/paramètres de refroidissement dans le cas du soudage sur pleine épaisseur avec préchauffage à 150 °C.

Exécution des soudures

Les soudures d'atelier, aussi bien longitudinales que circulaires, sont du type dit à arc submergé, exécutées avec un coefficient de résistance égal à celui de la tôle. Ce coefficient a été ramené (pour la qualité S 890 QL seulement) à 75 % de la pleine tôle pour les soudures circulaires de chantier. Pour les autres nuances d'acier, cette résistance reste égale à celle de la pleine tôle.

Les soudures de montage en chantier de galerie sont de deux natures différentes selon qu'il s'agit de préfabrication ou de montage.

Les soudures de préfabrication de site sont exécutées, à arc submergé, comme en atelier de plaine.

Les soudures de montage dépendent du choix des entreprises. Deux des partenaires du consortium a qui ont été confié ces travaux, ont exécuté les soudures de montage 100 % à l'électrode enrobée. Le troisième partenaire de ce consortium a exécuté les soudures au moyen d'automates et partiellement par des semi-automates.

Travaux de montage

Pour être complète, l'expérimentation devait être étendue aux soudures en puits.

Des viroles ayant les diamètres et les épaisseurs correspondantes aux quatre tronçons du puits, ont donc été exécutées en atelier et soudées dans les conditions de site, en incliné et en souterrain, avec les diverses techniques de soudure envisagées (électrodes, semi-automatique et automatique) dans le cadre d'une Assurance Qualité formalisée (AQ).

Ce test en grandeur nature a permis aux entreprises d'ajuster les paramètres de soudure, d'améliorer la forme des chanfreins et des équipements préchauffage, l'ergonomie des plates-formes de travail, etc.

On a pu ainsi commencer la fabrication, convaincu du bon choix des matériaux et des techniques de montage et de soudage choisis. Les choix se sont avérés cohérents. Une fois adaptées aux conditions de site, les techniques de fabrication et de montage ont été maîtrisées.

Cependant, la maîtrise de ces aciers spéciaux ne se gagne qu'en respectant scrupuleusement les paramètres de soudure et les procédures définies.

Plan d'assurance qualité

L'ensemble de l'ouvrage a été soumis à un Plan d'Assurance Qualité (PAQ) très sévère, élaboré par le chaudronnier traitant de toutes les procédures en application pour les travaux d'atelier et sur site, afin de garantir un travail dans les règles de l'art, dans une sécurité optimum et pour un suivi de toutes les phases des travaux et des contrôles de qualité.

Tous les joints sont soumis à des contrôles non-destructifs par le service de contrôle qualité interne aux entreprises. Tous les travaux sont supervisés par la direction des travaux et par un contrôleur extérieur (la Société SEM à CH-Châtel-St-Denis), mandaté par le maître de l'ouvrage.

3. Aciéries

Les principales aciéries européennes et japonaises ont été sélectionnées pour approvisionner l'important marché que représente le puits blindé et le répartiteur de Cleuson-Dixence, soit plus de 11 500 tonnes, au total, qui ont été réparties entre les aciéries, de la manière suivante:

Oxeloesund	2760 t	Qualité Weldox 900 E
Thyssen	590 t	Qualité XABO 890
Thyssen	835 t	Qualité N-A-XTRA M 70
Dillinger	5620 t	Qualité Dillimax 890 T
Dillinger	490 t	Qualité Dillimax 690 T*

* pour le répartiteur.

Sumitomo	740 t	Qualité Sumiten 950
Rautaruukki**	600 t	Qualité P 355 N L1

** Rautaruukki a livré également les tôles d'une grande partie des blindages des galeries en amont du puits blindé.

4. Dimensionnement des blindages du puits

Les blindages du puits sont constitués de tuyaux lisses (sans raidisseurs extérieurs). A part le dernier tronçon du puits vers la fenêtre de Tracouet où la pression extérieure est déterminante, ailleurs, l'épaisseur induite par la pression intérieure est toujours suffisante pour résister, à tube vide, à l'écrasement sous la pression extérieure.

Les tuyaux ont été fabriqués en usine en longueur de 6 m et également en 9 m. A l'exception du chantier du bas du puits, les tuyaux des autres lots ont été assemblés sur place en tronçons de 12 m de longueur. Le tuyau le plus lourd descendu dans le puits pèse 42 tonnes, en longueur de 12 m.

Pressions intérieures maximales en mCE sollicitant la conduite

Les pressions intérieures prises en compte dans le calcul correspondent à la pression statique maximale à lac plein, majorée d'un coup de bêlier de 10 % en centrale et décroissant linéairement le long de la conduite développée pour atteindre 0 % au droit du puits vertical de la cheminée d'équilibre.

Les pressions intérieures varient dans le puits, de 26,5 bars (260 mCE) en tête de l'ouvrage à 211 bars (2067 mCE) à la base.

Pressions extérieures maximales en mCE sollicitant la conduite

La pression extérieure maximum s'exerçant sur le tube correspond en général à la différence de niveau entre deux fenêtres, car à chacune d'elle la conduite est mise à l'air libre.

La pression extérieure varie entre un minimum de 60 mCE et un maximum de 585 mCE.

A cette pression extérieure ont été additionnés 8,0 mCE, pour tenir compte d'un possible effet de vacuum.

Pour le calcul, le jeu tôle-béton a été fixé à 1,2 % du rayon du tube.

Limite élastique des aciers prise en compte dans les calculs

Pour les aciers à grains fins trempé-revenu de la nuance S 690 QL et S 890 QL, on a tenu compte, pour le calcul, d'une limite élastique fictive égale à 0,85 fois la limite de rupture proposée.

Cette disposition a permis au chaudronnier de classer les tôles en fonction de leur résistance effective pour être utilisées de la façon la plus judicieuse possible dans le puits.

Pour les autres aciers (par ex. StE 355 dans le haut du puits), les limites élastiques garanties ont été prises en compte.

Coefficients de sécurité

Ils sont conformes aux prescriptions de la CECT.

5. Enrobage des conduites

Principes

- A l'exception de certains tronçons de conduite à la traversée des fenêtres l'ensemble des blindages est enrobé de béton.



Figure 5. Principe de mise en œuvre des bétons fluidifiés, essais préliminaires.

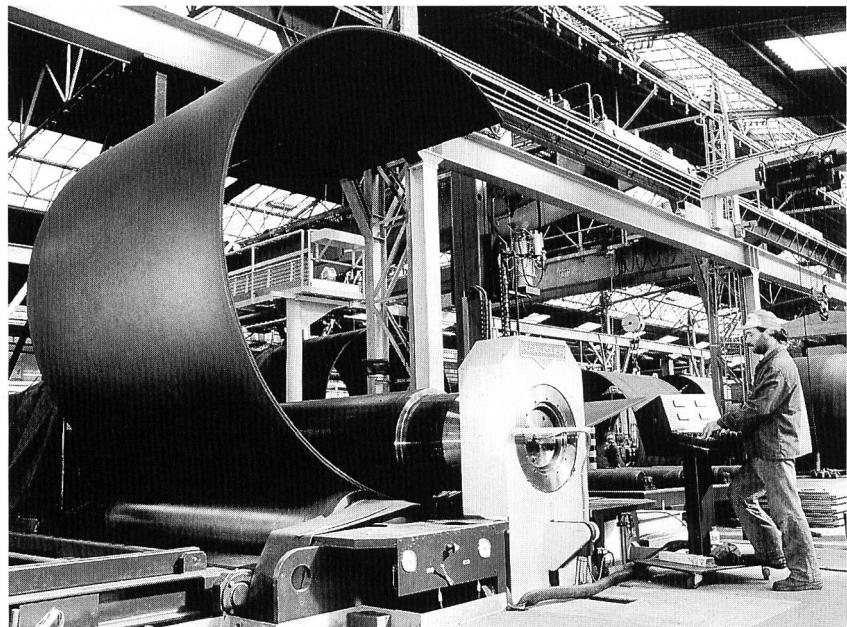


Figure 6. Fabrication en atelier – roulage d'une tôle.

- Les massifs de stabilisation des coudes et autres remplissages aux fenêtres sont faits de béton classique mis en place à la pompe.

Béton spécial fluidifié (figure 5)

- Le béton d'enrobage des conduites est un béton spécial fluidifié, mis en place par coulée dans une goulotte ($\frac{1}{2}$ tube en PVC de diamètre 30 cm) jusqu'aux fronts de montage. Ce système a déjà été utilisé à l'étranger, mais c'est dans le cadre de Cleuson-Dixence qu'il a été mis en œuvre en Suisse pour la première fois.
- La formulation de ce béton spécial a été mise au point en laboratoire. Le béton fut ensuite testé et coulé, sur un plan incliné à 68 % de pente, sur une centaine de mètres. On a ainsi pu se faire une opinion précise quant à la coulée du béton et à son étalement final sans pervibration.
- Le béton est composé d'agrégats 0/16, de ciment résistant aux sulfates avec adjonction soit de fumée de silice pour les bétons en provenance de la plaine, soit de cendres volantes pour le béton fabriqué à Tracouet. Le ratio E/C est de 0,53 à 0,55 environ.
- La présence de fumée de silice ou de cendres volantes améliore la plasticité, l'homogénéité et la résistance mécanique.
- Les résultats obtenus sur cubes d'essai montrent une très bonne résistance mécanique.
- A la fenêtre de Tracouet, à 2150 m d'altitude, tous les matériaux ont été acheminés par téléphérique et le béton a été fabriqué sur place.
- Pour les autres fenêtres, le béton a été fabriqué en centrale de plaine et acheminé aux différentes fenêtres par camions toupies.
- Le béton a été fluidifié sur place, stocké dans une trémie de chargement et coulé dans le puits. Il est mis en place derrière les blindages, sans pervibration.
- Le choix de cette solution s'est avéré très efficace. Le béton est mis en place en temps masqué. Il garde ses qualités, même après plus de 1000 m d'écoulement dans le puits incliné. Un débit de 20 m³ à l'heure est atteint sans difficulté.
- A la fin des travaux, pour l'ensemble des 4 km de puits, une masse d'environ 37 000 m³ de béton aura été mise en place.

6. Protection anticorrosion

Pour tenir compte des délais d'exécution extrêmement courts, tous les tuyaux ont été peints en atelier, la plus grande partie au moyen d'un automate, selon une procédure précise. Seules les zones de soudage exécutées sur site ont été sablées et traitées sur place à la fin des montages.

Le traitement des surfaces a consisté en:

- Un sablage donnant un degré de rugosité (Ra min. 6 µm).
- A l'application d'une couche primaire de Friazinc R à deux composantes, ép. minimum 30 µm.
- A l'application de trois couches de protection, Inertol Poxytar F à deux composantes, ép. minimum du film sec 135 µm par couche.
- L'épaisseur finale du film sec est de 410 µm.
- Le revêtement est garanti 10 ans à réception des travaux et couvert par une assurance souscrite par le chaudronnier (GSN).

7. Essais de pression

La mise en pression du puits se fera entre les vannes sphériques à Bieudron et un fond bombé monté sur la bride aval du tuyau démontable à Tracouet nécessitant un apport de 32 000 m³ d'eau au travers des by-pass de la vanne de tête du puits, à Tracouet.

La pression d'essai s'élèvera à 30 % en dessus de la pression dynamique maximum sollicitant le puits.

8. Contrôle du puits

Accès pour visite du puits

On pourra accéder à l'intérieur des blindages du puits par des tuyaux démontables et des trous d'homme. Un système de treuil, de poulies et de nacelles de visite, sont prévus à cet effet.

Contrôle commande

Des tubes en acier noyés dans le béton d'enrobage serviront de gaines pour les câbles et les fibres optiques du contrôle commande, entre la centrale de Bieudron et la chambre de la vanne en tête de puits à Tracouet.

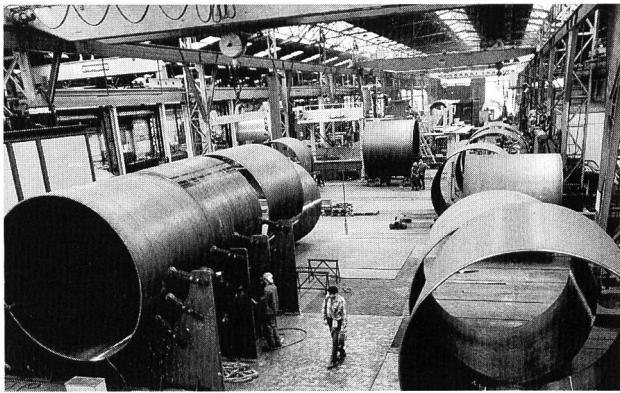


Figure 7. Fabrication en atelier – soudage de deux viroles.

9. Exécution des travaux du puits blindé de Tracouet-Bieudron

Adjudication des travaux

Pour des raisons pratiques, l'ensemble du puits fut divisé en quatre parties, pouvant être adjugées séparément.

L'ensemble des travaux y compris le bétonnage a été adjugé au consortium GSN groupant les entreprises Giovanola à Monthey, Sulzer-Hydro à Kriens, GEC Alsthom Neyric à Grenoble.

Fabrication (figures 6, 7 et 8)

La fabrication des tuyaux de la partie du puits à fortes épaisseurs (de 72 à 41 mm) a été partagée entre les entreprises Sulzer-Hydro (Ravensburg) et ATB Caldereria (Brescia).

Les trois autres secteurs du puits ont été fabriqués entièrement par l'entreprise Giovanola à Monthey.

Montage

- Les travaux de montage ont été divisés en trois lots:
- Les blindages aux deux extrémités du puits (Condémines-Bieudron et Tracouet-Dzerjonna), réalisées par l'entreprise Giovanola.
- Les deux lots du centre (Péroua-Condémines et Dzerjonna-Péroua) sont réalisés par l'entreprise GEC-Alsthom Neyric.
- La base du puits comprenant le coude inférieur et le tronçon de conduite se raccordant au répartiteur a été réalisé par Sulzer-Hydro, en relation avec le montage du répartiteur.

Le tronçon F IV, dans la partie basse du puits entre les fenêtres de Bieudron et de Condémines, a un diamètre de 3000 mm. Il est constitué de 130 tuyaux de 6 et 9 m et se développe sur 1078 m avec une pente de 68 %. Le poids total des blindages s'élève à 4043 tonnes d'acier S 890 QL, en épaisseurs de 66 à 48 mm. A sa base, le blindage du puits inférieur, se raccorde à celui du répartiteur.

Le tronçon F III, entre les fenêtres de Condémines et de Péroua, prolonge le tronçon inférieur, mais avec un diamètre de 3200 mm. Il se développe sur une longueur de 886 m, jusqu'à l'amont du palier horizontal de Péroua. Il est constitué de 81 tuyaux de 12 et 6 m. Le poids total des blindages s'élève à 2450 tonnes d'acier S 890 QL, en épaisseurs de 42 à 36 mm. A son arrivée à Péroua le puits rejoint le premier palier horizontal par un coude de rayon 100 m.

Le tronçon F II, entre les fenêtres de Péroua et de Dzerjonna, commence par une galerie inclinée à 15 % et se continue par une galerie en courbe de rayon 1540 m. Il rejoint le second palier horizontal de Dzerjonna par un coude de rayon 100 m. Cette partie du blindage se développe sur

une longueur de 925 m, avec un diamètre de 3200 mm. Elle est constituée de 85 tuyaux de 6 à 12 m. Le poids total des blindages s'élève à 2099 tonnes d'acier S 890 QL, en épaisseurs de 36 à 23 mm.

Le tronçon F I, entre les fenêtres de Dzerjonna et de Tracouet, commence par un puits incliné à 68 % et se raccorde à une galerie inclinée à 30 %, creusée en descendant de façon traditionnelle. Dans cette partie du puits, le diamètre des blindages passe de 3200 à 3400 mm pour atteindre 3800 mm en aval de la cheminée d'équilibre, au raccordement avec le blindage de la galerie d'aménée. Cette partie du blindage se développe sur une longueur de 1223 m. Elle est constituée de 118 tuyaux de 6 à 12 m. Le poids total des blindages s'élève à 2674 tonnes d'acier dans les nuances S 890 QL, S 690 QL et StE 355, en épaisseurs de 35 à 21 mm.

Principe des montages (figures 9 et 11)

Chacune des tranches du puits a été équipée pour décharger et acheminer les tuyaux en galerie et pour les descendre dans le puits sur des rails. Un puissant treuil permet cette manœuvre.

Au front de montage de chacun des secteurs du puits, un module de montage a permis les opérations suivantes:

- accostages et mise en forme,
- soudages manuels ou automatiques,
- opération de meulage par meule pivotante,
- contrôles des soudures sur un chariot permettant de descendre de façon indépendante à 40 mètres en aval du module de montage.
- L'accès du personnel de montage et de soudure à ces plans de travail, se fait par une nacelle tractée par un treuil, soit par le bas, à l'intérieur du tube fini, dans le cas de GEC Alsthom Neyric soit par le haut pour Giovanola.
- L'alimentation électrique est faite par le bas des puits, en 16 kV voire 5 kV. La transformation du courant se fait sur les modules de montage.
- Pour la section F IV, les tuyaux fabriqués d'usine en longueur de 6 m pour le bas du puits et 9 m pour la partie supérieure, ont été descendus jusqu'au front de montage au moyen de lorries.
- Pour les autres lots, où les tuyaux sont préassemblés en longueur de 12 m en chantier de site, un chariot de montage introduit dans le tuyau permet la descente de celui-ci et son accostage au tuyau en place.



Figure 8. Stockage des tuyaux avant expédition.

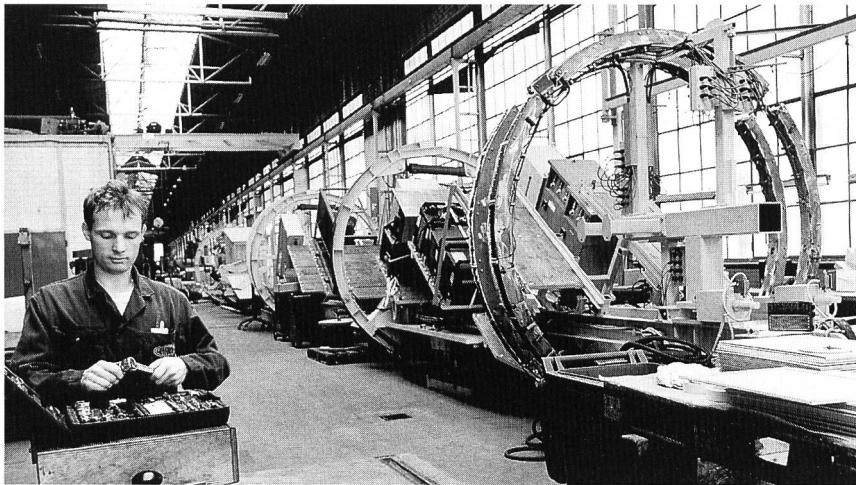


Figure 9. Module de montage en atelier.

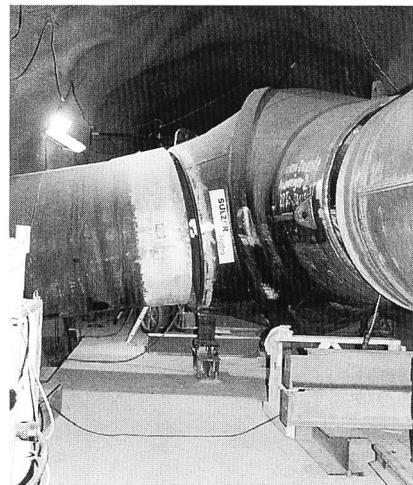


Figure 10. Bifurcation en montage.

Programme des travaux

Le retard dans l'exécution des travaux d'excavation du puits, a entraîné un décalage considérable du début des travaux de blindage. Ces travaux ont été suivis d'une campagne de drainage des eaux d'infiltration afin de donner aux chaudronniers un chantier de montage aussi asséché que possible.

- La partie supérieure du puits n'a été libérée des installations de génie-civil qu'en début d'année 1997.
- Après la mise en place des installations de chantier et des équipements de montage, les premiers chantiers dans la partie inférieure du puits ont commencé entre octobre et novembre 1996. La partie supérieure du puits n'a pu être donnée aux chaudronniers qu'en avril 1997.
- Malgré des conditions très difficiles et un temps de montage très comprimé, l'effort consenti par les constructeurs permet d'être très confiant, quant à l'objectif d'une mise en eau des galeries et du puits, au début mai 1998.
- L'ensemble des blindages du puits aura été réalisé en 17 mois.

10. Répartiteur

Le répartiteur (figure 11) fait partie intégrante du système du puits blindé.

Il est constitué de trois bifurcations axées sur un tuyau principal de section variable et se raccordant perpendiculairement aux trois rameaux d'alimentation des machines. Espacés de 25 m, ces rameaux se terminent par une pièce conique et une bride de raccordement aux vannes sphériques.

Les bifurcations sont construites selon la technique Sulzer-Hydro. Le principe de la bifurcation consiste à diriger le flux à angle droit, avec un minimum de perte de charge. Cela est réalisé au moyen d'un renforcement intérieur massif en forme de fauille, orienté de façon précise pour diviser le flux de façon optimale.

En plus de leurs fonctions hydrauliques, les renforcements jouent un rôle statique prépondérant dans la stabilité de l'ensemble de la structure des bifurcations, composée d'éléments sphériques de diamètres et d'épaisseurs croissants, assemblés par soudure.

Chacune des bifurcations a été soumise, après soudure, à un traitement thermique de détente qui ne devait pas affecter la qualité du trempage des aciers de base. La plus lourde des bifurcations pèse environ 41 tonnes.

L'ensemble du répartiteur représente une très belle pièce de chaudronnerie d'un poids de 490 tonnes.

La répartiteur a été fabriqué par Sulzer-Hydro (Kriens) en consortium avec Giovanola (Monthey). Compte tenu de la forte épaisseur des tôles à rouler, la fabrication des tuyaux droits a été confiée à ATB (Brescia), comme sous-traitant.

La qualité de l'acier choisi pour la réalisation du répartiteur est de la nuance S 690 QL en épaisseurs variant, pour les tuyaux droits, de 94 à 53 mm en fonction du diamètre. Les renforcements intérieurs allant jusqu'à 250 mm d'épaisseur, sont en acier S 690 QL de qualité Z-35.

Après contrôle, l'ensemble de l'ouvrage a été soumis à une épreuve de pression en plusieurs paliers jusqu'à 305 bars. Les déformations de l'objet ainsi que les contraintes engendrées par les efforts dans la plus grande des bifurcations, ont été enregistrées. Les résultats obtenus correspondent aux prévisions du calcul par éléments finis.

Le répartiteur construit de façon indépendante du puits, a été raccordé à celui-ci en juillet 1997, par un tuyau de clavage ajusté et soudé.

L'accès à la base du puits se fait désormais par la porte blindée située à l'extrémité du répartiteur, dans la fenêtre F8 à Biedudron.

L'ensemble du répartiteur a été enrobé de béton, partiellement armé. Les vannes sphériques qui définissent la limite de l'ouvrage sont actuellement en fin du montage.

11. Données économiques

Les données économiques concernant l'exécution du puits blindé et du répartiteur sont réunis dans la figure 13. Pour le blindage du puits, les prix donnés en kF (1994) englobent également tous les travaux d'enrobage en béton des conduites. Le prix du répartiteur est exprimé sans le coût du béton d'enrobage.

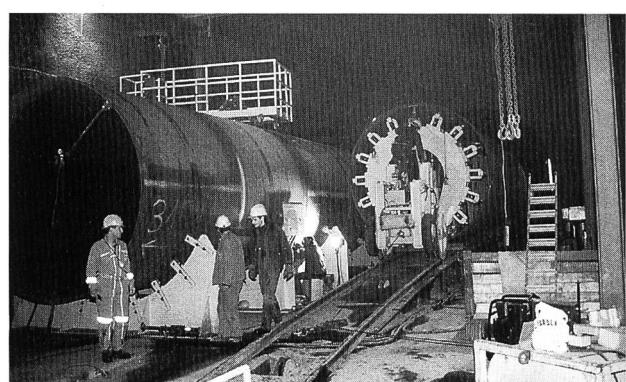


Figure 11. Atelier de préfabrication de chantier.

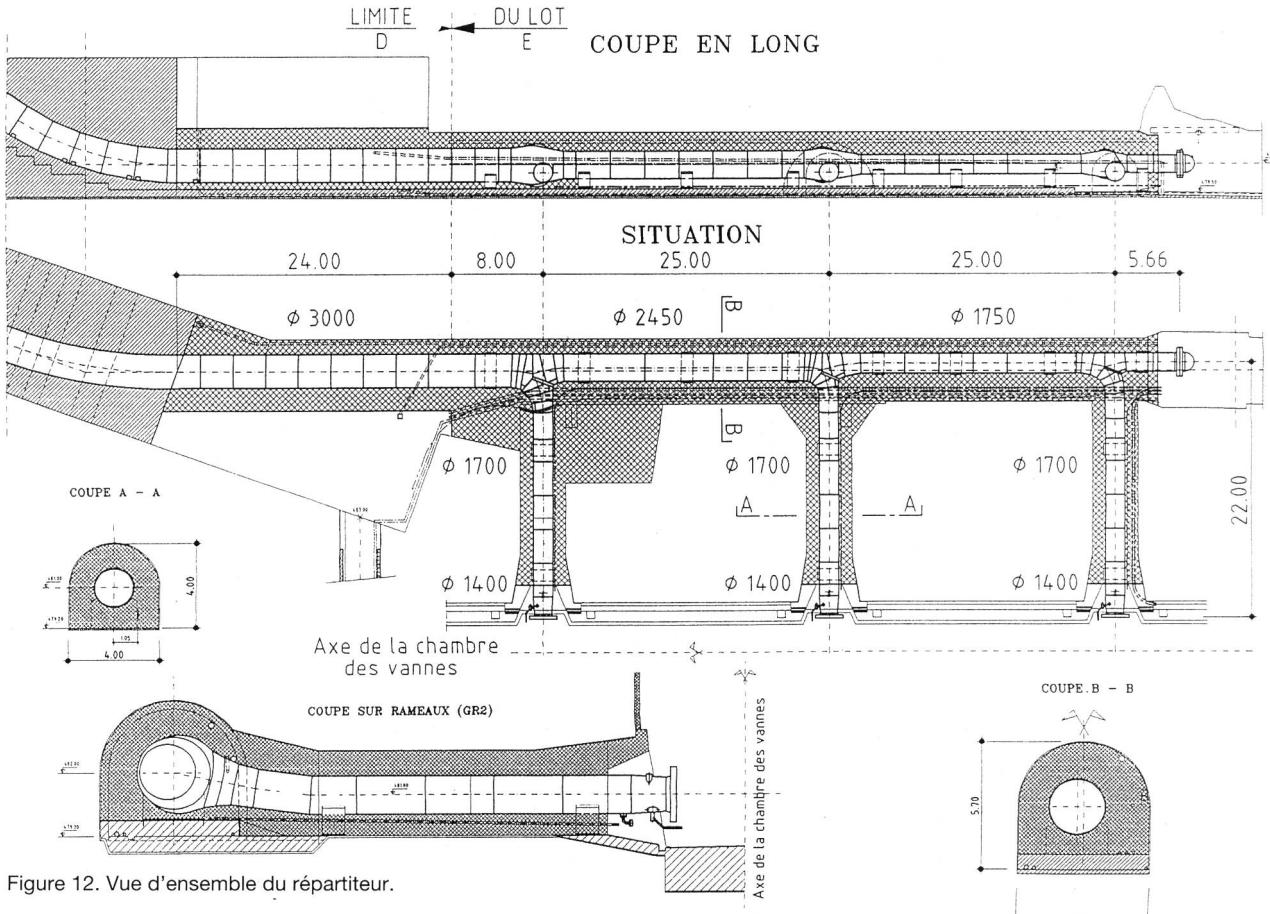


Figure 12. Vue d'ensemble du répartiteur.

Lots	Diamètre intérieur mm	Longueurs m	Poids tonnes	Durée en semaines	Cadence moyenne m/semaine	Coût au ml CHF (1994)	Coût par tonne CHF (1994)
Répartiteur	3000 à 1700		495				11,0 kF/tonne
F IV	3000	1078	4043	81	13,3	27,3 kF/m	7,3 kF/tonne
F III	3200	814	2449	61	13,3	24,0 kF/m	7,3 kF/tonne
F II	3200	925	2099	56	16,5	20,0 kF/m	8,8 kF/tonne
F I	3200 à 3800	1223	2674	48	25,5	18,9 kF/m	8,65 kF/tonne

Figure 13. Données économiques (valeurs en 1994 base du marché).

12. Conclusions

Les conduites d'aménée, la cheminée d'équilibre et le puits de l'aménagement Cleuson-Dixence, font partie d'un ouvrage 100 % souterrain. Lorsque les travaux seront achevés, seules les discrètes fenêtres qui ont permis les travaux d'excavation et de montage, seront encore visibles. L'environnement aura été sauvegardé au maximum.

Bien que de conception classique, le puits blindé de cet aménagement a été une expérience pleine d'enseignements et a permis d'innover dans le domaine de l'utilisation d'acier à très haute limite élastique, de la nuance trempé-revenu, pour l'exécution d'un puits blindé haute chute.

Les concepteurs de l'ouvrage ont fait œuvre de pionniers en utilisant les aciers S 890 QL. Une expérimentation très sérieuse a précédé la mise en œuvre de ce matériau. Toutes les phases de la fabrication et du montage ont été testées en grandeur nature et c'est en toute confiance que les travaux ont pu commencer.

L'acier S 890 QL, tout en ayant des caractéristiques mécaniques très élevées est parfaitement soudable. Cependant la maîtrise de ces aciers spéciaux ne se gagne qu'en respectant scrupuleusement les paramètres de soudure et les procédures définies.

Le coût final de l'ouvrage est supérieur à celui qui a été estimé au stade du projet, du fait que les modifications de tracé imposées par les travaux d'excavation ont amené la réalisation d'un palier horizontal supplémentaire au niveau de la fenêtre de Dzerjonna, qui n'était pas prévu dans le projet initial.

L'aspect sécurité est resté prioritaire durant toute la durée des travaux. Malgré les risques propres à ce type d'ouvrage en puits et le stress provoqué par un travail acharné, souvent en équipe jour et nuit, aucun accident grave n'a été à déplorer, ce qui est aussi un succès.

Les principes de montage, la conception des plates-formes de travail et des engins de manutention développés par les chaudronniers, ont permis de réaliser cet ouvrage dans les temps contractuels.

Une excellente organisation, un esprit d'équipe, une collaboration étroite entre les entreprises et le Maître de l'ouvrage ont fait de cet ouvrage un succès total.

Adresse de l'auteur: Léonard Ribordy, Ingénieur EPFL, SIA, Energie de l'Ouest Suisse SA, EOS, case postale 307, CH-1951 Sion. Discours lors de la 86^e Assemblée générale de l'Association suisse pour l'aménagement des eaux, Sion-Bramois, le 18 septembre 1997.

Photos: H. Preisig, Sion