

Zeitschrift: Ingénieurs et architectes suisses

Band: 105 (1979)

Heft: 20

Artikel: Les contrôles d'exécution des digues du bassin de compensation de Châtelard-Village

Autor: Mottier, Jean-Louis

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-73859>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 22.05.2025

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

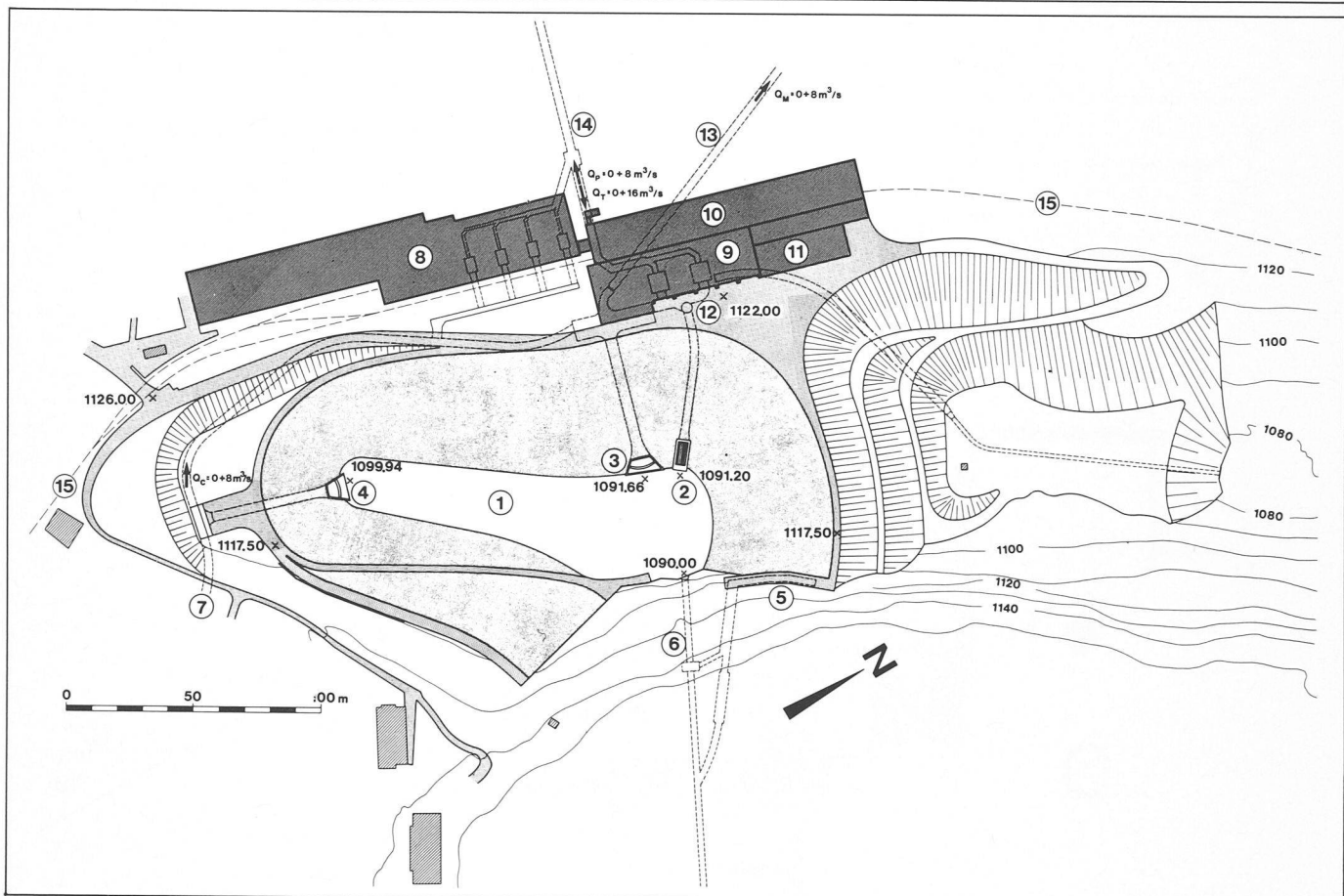


Fig. 3. — Centrales de Châtelard I et II et bassin de compensation — Situation.

- | | | |
|--|--------------------------------------|--|
| 1. Bassin de compensation | 7. Canal d'amenée à écoulement libre | 12. Canal de fuite des turbines |
| 2. Prise d'eau et galerie d'amenée | 8. Centrale de Châtelard I | 13. Galerie à écoulement libre (vers les Marécottes) |
| 3. Ouvrage d'introduction de l'eau des centrales | 9. Centrale de Châtelard II | 14. Puits blindé de Barberine (de/vers la retenue d'Emosson) |
| 4. Ouvrage d'introduction de l'Eau-Noire | 10. Poste de couplage 132 kV | 15. Chemin de fer Martigny - Châtelard |
| 5. Evacuateur de crues ($Q = 23 \text{ m}^3/\text{s}$) | 11. Place des transformateurs | |
| 6. Vidange de fond | | |

2. Les contrôles d'exécution des digues du bassin de compensation de Châtelard-Village

par Jean-Louis Mottier, Baden

Le bassin de compensation de Châtelard-Village est un ouvrage entièrement artificiel de 203 000 m³ de capacité utile pour un volume total de près de 250 000 m³ (fig. 3 et 5). L'étanchéité est assurée par un revêtement en béton bitumineux de 9 cm d'épaisseur en radier et sur les berges au-dessous de la cote 1101,00 m s.m. et d'épaisseur variant de 6 à 9 cm sur les berges au-dessus de cette cote. Les surfaces du masque bitumineux s'élèvent à environ 4500 m² sur le radier et à environ 19 000 m² sur les talus. La partie est de la retenue s'appuie sur une falaise rocheuse de 40 m de hauteur, traitée dans un but d'étanchement au moyen de béton projeté de 5 à 6 cm d'épaisseur. La profondeur d'eau maximale du bassin est de 26 m et la revanche jusqu'au couronnement de 1,50 m. Pour éviter des effets de sous-pression sur le revêtement, le bassin est équipé d'un système de drainage composé de plusieurs tronçons séparés débouchant dans la chambre de vidange de fond et permettant un contrôle permanent des débits de drainage. Par ailleurs, le bassin de compensation comporte les ouvrages annexes habituels tels que : évacuateur de crues dimensionné pour un débit de 23 m³/s, vidange de fond, ouvrages d'introduction des eaux des centrales, prise d'eau et galerie d'amenée ainsi que rampe d'accès au fond du bassin et réseau d'hydrants pour le nettoyage.

2.1 Provenance et mise en place des matériaux de remblai

Les digues du bassin, d'une hauteur maximale d'environ 35 m sur fondations (fig. 5), ont été remblayées, en grande partie, au moyen de matériaux rocheux de nature granitique et gneissique provenant de l'excavation des galeries et de divers ouvrages de l'aménagement hydro-électrique franco-suisse d'Emosson. Le volume des matériaux nécessaires à la construction des digues s'est élevé à 300 000 m³ environ.

Les matériaux ont été mis en place en couches de 60 cm d'épaisseur et compactés au rouleau vibrant lisse (type Dynapac) de 40 kN (4 t) de charge statique correspondant à 110 kN (11 t) de charge dynamique. Des blocs de rocher isolés jusqu'à un diamètre de 50 cm ont été tolérés lors de la mise en place des remblais.

2.2 Essais préliminaires

Les auscultations préliminaires pour la construction du bassin de compensation de Châtelard-Village et de la centrale de Châtelard II ont débuté par une étude géologique approfondie et par une cam-

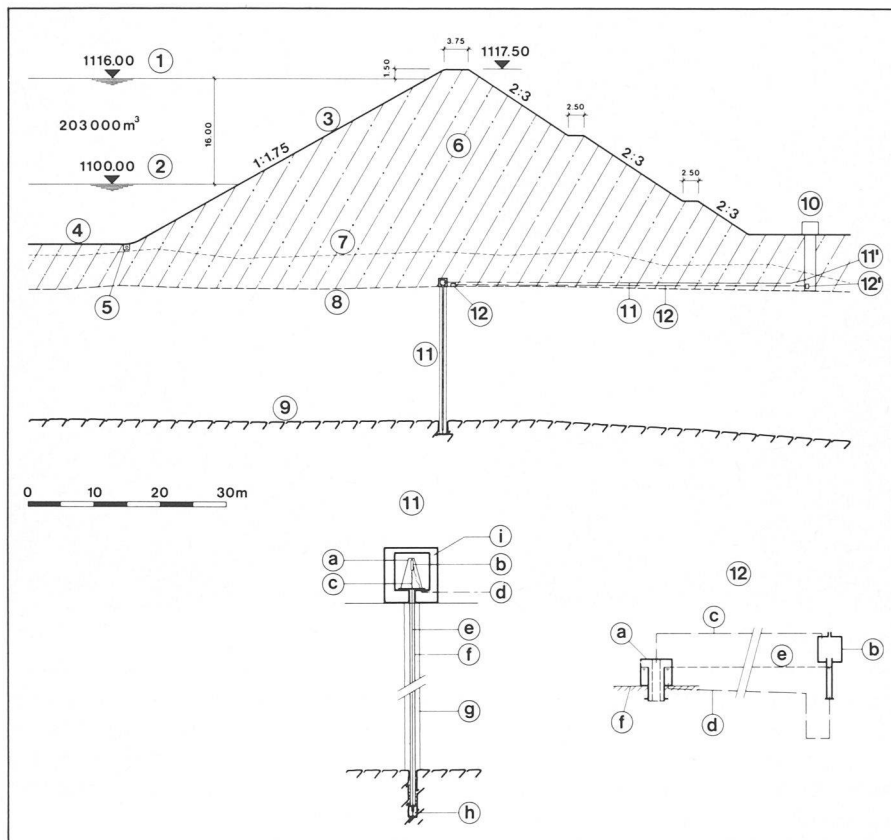


Fig. 5. — Bassin de compensation. Coupe de la digue principale avec tassomètres.

1. Retenue max.
2. Retenue min.
3. Revêtement bitumineux épaisseur 6 à 9 cm
4. Revêtement bitumineux épaisseur 9 cm
5. Système de drainage
6. Corps de la digue
7. Terrain naturel
8. Excavation
9. Substratum rocheux
10. Puits de mesure
11. Tassomètre Télémac
- 11'. Point de mesure du Télémac
12. Tassomètre LEGEP
- 12'. Colonne de mesure du LEGEP

11. Tassomètre Télémac
 - a) Support
 - b) Dynamomètre
 - c) Ressort taré
 - d) Câble de mesure
 - e) Corde vibrante
 - f) Tube PVC $\varnothing$ 160 mm
 - g) Forage
 - h) Ancrage
12. Tassomètre LEGEP
 - a) Cellule mobile solidaire de la fondation
 - b) Colonne de mesure
 - c) Conduite d'air
 - d) Conduite d'eau
 - e) Niveau hydrostatique
 - f) Fondation de la digue

pagne de sondages. 16 sondages rotatifs de $\varnothing$ 146 respectivement 161 mm et de 11,60 à 40,30 m de profondeur ont été exécutés. La longueur totale forée en terrain meuble et en rocher s'élève à 315 m environ.

Par ailleurs, la falaise rocheuse située à l'est du bassin ainsi que la zone d'éboulement derrière la centrale ont fait l'objet d'examen et de levés géologiques détaillés.

Le Laboratoire de géotechnique de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (LEGEP) a été chargé du prélèvement d'échantillons remaniés dans les sondages ainsi qu'aux diverses décharges de matériaux d'apport et de l'exécution d'essais en laboratoire.

Ces essais ont porté sur les points suivants :

- sols d'assise du bassin : teneur en eau naturelle, poids spécifique apparent et densité des grains, indices de vide, degré de saturation, composition granulométrique, résistance au cisaillement simple et compressibilité ;
- matériaux d'apport du corps des digues : composition granulométrique,

teneur en eau optimale de compactage (essai Proctor) et essai de rupture à l'appareil triaxial.

Sur la base des nombreux essais effectués, l'on a pu fixer les caractéristiques de compactage des matériaux d'apport des digues aux valeurs données par le tableau I.

TABLEAU I : Caractéristiques du compactage des matériaux

Provenance des matériaux	Optimum Proctor éléments fins $\varnothing < 7$ mm			Optimum Proctor sur l'ensemble du matériau			Densité apparente humide en place compacté 85 %
	γ_d t/m ³	W %	γ_h t/m ³	γ_d t/m ³	W %	γ_h t/m ³	γ_{min} t/m ³
A	1,97	10,4	2,20	—	—	—	2,10
B	2,10	10,0	2,31	2,33	4,5	2,43	2,10
C	2,07	7,6	2,23	2,32	4,0	2,41	2,10
D	1,94	11,6	2,16	2,28	5,0	2,39	2,10
E	2,10	10,0	2,31	2,33	4,5	2,43	2,10

γ_d = densité sèche
 γ_h = densité humide
W = teneur en eau

Les essais de compactage ont été effectués à l'aide de l'énergie standard sur la fraction fine de $\varnothing < 7$ mm des échantillons.

Pour fixer les caractéristiques de compactage des matériaux avec les éléments grossiers, il a été tenu compte des corrections de la norme SNV 670 330a.

2.3 Contrôle pendant les travaux

Les contrôles effectués sur le chantier pendant les travaux de construction, soit par le personnel de la direction locale des travaux, soit par le LEGEP, ont porté, d'une part, sur la détermination du nombre de passages nécessaire du rouleau vibrant pour obtenir le compactage voulu et le contrôle de ce compactage par la mesure de la densité apparente humide et, d'autre part, sur la mesure des tassements des sols d'assise de la digue et de la déformation de cette dernière lors de la mise en eau.

2.3.1 Nivellements sur remblais d'essais

Les matériaux d'apport en provenance de 4 décharges rocheuses de l'aménagement d'Emosson ainsi que d'une décharge supplémentaire morainique ont été contrôlés au moyen de remblais d'essais de $10 \times 20 = 200$ m² respectivement $7 \times 30 = 210$ m² afin de déterminer le nombre de passages aller et retour nécessaire du cylindre vibrant pour obtenir un compactage suffisant. Les contrôles ont été effectués par nivellement d'un réseau de 24 plaques rigides de 10 cm de côté scellées sur le remblai d'essai selon un quadrillage avec mailles de $1,6 \times 1,6$ m de côté. L'épaisseur des remblais d'essai était de 60 cm correspondant à l'épaisseur de mise en place des couches choisie pour l'exécution.

Neuf remblais d'essais ont été exécutés avec les matériaux des 5 décharges et avec des mélanges de celles-ci. Il a fallu de 6 à 8 passages aller et retour pour obtenir le compactage voulu.

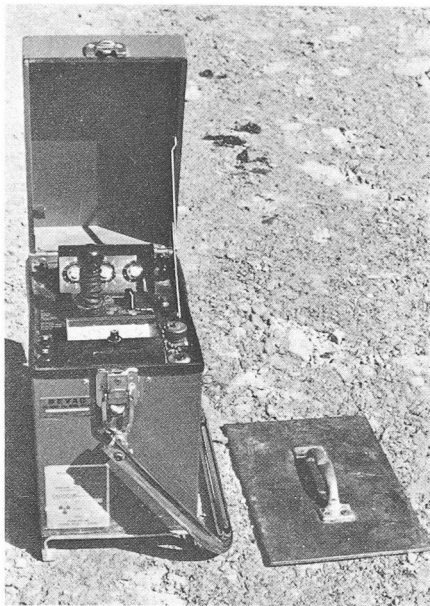


Fig. 6. — Nucléodensimètre — Modèle Seaman C 75.

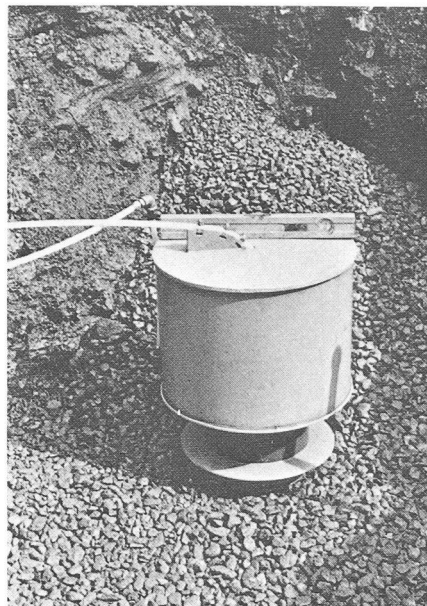


Fig. 7. — Tassomètre LEGEP. Cellule mobile solidaire de la fondation.

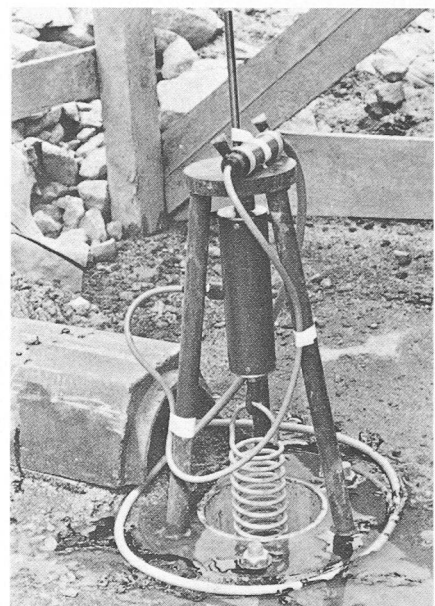


Fig. 8. — Tassomètre Télémac. Partie supérieure avec dynamomètre et ressort taré.

2.3.2 Essais de sable

Le but de ces essais est de contrôler le degré de compactage des couches de remblais mis en place par la détermination de la densité apparente humide. Cette densité a été déterminée par la méthode du sable conformément à la norme SNV 70 335. L'appareillage pour l'exécution des essais a été livré par le LEGEP. 57 essais ont été effectués sur les 64 couches mises en place.

2.3.3 Nucléodensimètre

Les essais de sable décrits précédemment sont lents et de ce fait ne peuvent être effectués en nombre important. Nous avons, à titre d'essai et de comparaison avec la méthode du sable, utilisé un nucléodensimètre de type C 75 de la maison « The Seaman Nuclear Corporation », Milwaukee Wis., USA, mis à disposition par le LEGEP. Cet appareil (fig. 6) permet par des mesures rapides et répétées de déterminer la densité apparente ainsi que la teneur en eau des remblais compactés.

Il s'agit d'un appareil à isotopes utilisant une source au radium-beryllium. Pour l'ensemble du chantier, il a été effectué 937 mesures au nucléodensimètre avec une fréquence de l'ordre de grandeur de 18 à 20 mesures par couche mise en place dans la digue principale.

2.3.4 Comparaison entre les mesures au nucléodensimètre et la méthode du sable

Dans 32 cas, les méthodes du nucléodensimètre et du sable ont été comparées directement. Cinq points disposés en croix à une distance de 50 cm ont été mesurés au nucléodensimètre après quoi un essai de sable a été effectué au même endroit et le résultat comparé à la moyenne des valeurs obtenues au nucléodensimètre. Les résultats sont indiqués dans le tableau II.

L'on constate une concordance satisfaisante entre les valeurs obtenues par les deux méthodes. Dans un cas cependant, c'est-à-dire dans les deux essais effectués sur des matériaux morainiques, les différences sont beaucoup plus importantes. Il semblerait que le nucléodensimètre fournisse des valeurs légèrement plus élevées que celles obtenues au moyen des essais de sable.

D'une façon générale, l'on peut affirmer que dans le cas de la digue du Châtelard l'utilisation du nucléodensimètre a été couronnée de succès. Cet appareil portable permet d'exécuter rapidement et à peu de frais un nombre important de contrôles de la densité apparente humide et de la teneur en eau des remblais compactés. Les résultats sont cependant faussés en présence de matériaux trop grossiers en dessous des points de mesure.

Cet état de choses est cependant détecté immédiatement par l'opérateur. Un déplacement des points de mesure de 1 à 2 m suffit en général pour éliminer cet inconvénient.

2.3.5 Tassements des sols d'assise de la digue

Les sols d'assise du bassin de compensation sont composés de moraine limono-sableuse et graveleuse de bonne qualité avec de nombreux blocs et en surface de produits de déjection hétérogènes apportés par le ruisseau coulant dans le fond du vallon. Ces matériaux de mauvaise qualité ont dû être enlevés sur une épaisseur variant de 1 à 5 m.

Pour le contrôle des tassements des sols d'assise du bassin pendant la construction des digues, l'on a placé 2 tassomètres (fig. 5) dans l'axe du vallon sous la digue principale. Un premier tassomètre à vases communicants du type LEGEP (fig. 7) a été livré par le Laboratoire de géotechnique de l'EPFL. Cet appareil conçu principalement pour les digues routières a dû être modifié pour le chantier du bassin de compensation de Châtelard-Village, du fait de la grande distance séparant la cellule mobile de la colonne de mesure. Pour des raisons de sécurité, le tassomètre LEGEP a été doublé par un tassomètre de type Télémac (fig. 8) à cordes vibrantes avec point fixe ancré dans le substratum rocheux situé à environ 20 m de profondeur. Les 2 tassomètres ont fonctionné parfaitement et fourni des résultats analogues.

Les tassements mesurés atteignent 20 cm et sont légèrement supérieurs à la valeur évaluée par le calcul. En fait, à l'heure actuelle, seul le tassomètre LEGEP fonctionne encore. L'appareil Télémac est hors service. En effet, le tassement total effectif dont la valeur finale a été sous-estimée dépasse le domaine de mesure de l'installation prévu initialement.

TABEAU II : Comparaison des valeurs du nucléodensimètre et de l'essai de sable

Provenance des matériaux	Nombre d'essais	Nucléodensimètre		Essai de sable γ_t/m^3
		γ_t/m^3	W %	
B	7	2,44	6,5	2,38
C	3	2,27	4,3	2,26
B + C	11	2,34	5,3	2,31
D	2	2,50	7,4	2,15
D + C	1	2,38	8,2	2,35
E + C	3	2,36	4,8	2,22
E	5	2,25	4,7	2,21
Moyenne de 32 mesures		2,35	5,5	2,29

2.3.6 Déformation du corps de la digue

Pour le contrôle des tassements du corps de la digue pendant la construction, nous avons renoncé à l'utilisation de balises de tassement. En effet, ces balises gênent considérablement les travaux de compactage et la circulation sur la digue. Par ailleurs, elles sont facilement déplacées et endommagées par les engins de compactage. Nous nous sommes contentés de placer sur le couronnement 8 repères dont les déplacements ont été mesurés en hauteur et en direction par des méthodes géodésiques au moment de la mise en eau du bassin. Aucun mouvement anormal n'a d'ailleurs été constaté.

2.3.7 Conclusions

Les travaux de construction des digues du bassin de compensation de Châtelard-Village ont fait l'objet de divers contrôles géotechniques comprenant : outre une campagne de sondages et les études géologiques et géotechniques préliminaires, la réalisation de remblais d'essais destinés à déterminer le nombre de passages du rouleau vibrant ainsi que le contrôle du degré de compactage par la mesure de la densité apparente humide au moyen d'essais de sable et au nucléodensimètre. Une comparaison directe de ces deux dernières méthodes a permis de constater une concordance satisfaisante entre les

résultats. Les tassements des sols d'assise de la digue principale ont été mesurés par un tassomètre LEGEP à vases communicants doublé d'un appareil Télémac à cordes vibrantes. Enfin, les déformations du corps de la digue au moment de la mise en eau ont été contrôlées par mesures géodésiques.

Adresse de l'auteur :

Jean-Louis Mottier
ing. dipl. EPFL,
c/o Motor-Columbus Ingénieurs-
Conseils S.A., Baden

3. Les pompes nourrices de la centrale de Châtelard-Barberine II

par R. Linz, G. Leupin, R. Léchet et E. Hasler, Baden

Parmi les aspects intéressants de la nouvelle centrale d'accumulation de pompage, il convient de mentionner les conditions particulières d'exploitation et le mode d'entraînement inhabituel des pompes nourrices. Celles-ci alimentent simultanément une pompe d'accumulation de 31 MW et une galerie à écoulement libre de 8 m³/s avec de l'eau provenant du bassin de compensation. Ces pompes sont appelées à travailler dans un large domaine de fonctionnement caractérisé par une hauteur de refoulement variant entre 0,9 et 19,4 m et un débit unitaire de 3,0 à 4,5 m³/s, qu'il a été possible de réaliser par variation de la vitesse de rotation. Les moteurs d'entraînement d'une puissance unitaire de 1113 kW en régime continu sont identiques aux moteurs monophasés à courant alternatif de 16 2/3 Hz, montés sur un type récent de locomotives des CFF. La vitesse de rotation est réglée par variation de la tension d'alimentation des moteurs au moyen d'un transformateur à gradins de locomotive. Ces particularités techniques ainsi que la complexité du système hydraulique de la centrale ont fortement marqué la conception de la commande et de la régulation de cette installation.

3.1 Conception de l'installation

Avant la construction de la nouvelle centrale d'accumulation de Châtelard II, l'eau sortant des turbines Pelton de l'ancienne centrale de Châtelard I était évacuée par une galerie à écoulement libre de plusieurs kilomètres, conduisant au bassin de compensation des Marécottes, pour être turbinée finalement à la centrale de Vernayaz. La galerie à écoulement libre était également alimentée par un canal collectant les eaux d'affluents. Après la construction de la nouvelle centrale de Châtelard et du bassin de compensation adjacent, le canal d'amenée et la galerie existants ont été maintenus en service. Les eaux débitées par les deux centrales I et II de Châtelard, ainsi que celles captées en rivières, sont retenues dans ce bassin, pour autant

qu'elles ne s'écoulent pas directement vers le bassin des Marécottes. Le canal d'amenée, le canal de fuite de la nouvelle centrale et la galerie à écoulement libre vers les Marécottes sont reliés entre eux (voir fig. 3).

Le débit maximal de la galerie à écoulement libre dans le bassin des Marécottes et celui du canal d'amenée s'élèvent à 8 m³/s, tandis que le débit maximal turbiné par les centrales I et II de Châtelard est de 16 m³/s. Le débit de la galerie vers le bassin des Marécottes est réglé par une vanne plane, commandée en fonction du débit requis par la centrale inférieure de Vernayaz.

L'eau retenue dans le bassin de compensation de Châtelard est en partie repompée dans le lac d'accumulation d'Emosson par la pompe multi-cellulaire de la nouvelle centrale et en partie refoulée dans la galerie des Marécottes.

Lors de la vidange du bassin de compensation de Châtelard, le niveau baisse de la cote 1116 à 1100 m. Le niveau du canal de fuite devant rester constant à la cote 1116,3 ± 0,1 m, des pompes de relevage s'imposent. Celles-ci refoulent l'eau du bassin de compensation dans le canal de fuite des turbines. Il est prévu ultérieurement de remplacer la galerie à écoulement libre des Marécottes par une galerie en charge pour un débit de 16 m³/s, à écoulement gravitaire (fig. 9), rendant superflu le pompage de l'eau dans la galerie à écoulement libre.

Actuellement, la nouvelle centrale est équipée d'une seule pompe d'accumulation à 7 étages et de 2 pompes de relevage. Toute l'infrastructure nécessaire a déjà été réalisée pour permettre l'installation d'une seconde pompe d'accumulation et d'une troisième pompe de relevage. Cette dernière ne sera cependant nécessaire que si la deuxième pompe d'accumulation sera mise en place avant la réalisation de la galerie en charge.

Le bassin de compensation de Châtelard est également utilisé comme bassin inférieur pour l'accumulation par pompage. Pendant ce pompage, les pompes de relevage fonctionnent comme pompes nourrices des pompes d'accumulation.

De ce fait, la cote d'implantation des pompes d'accumulation a pu être fixée à un niveau relativement élevé et indépendamment du niveau variable du bassin de compensation.

Dans la phase d'étude, plusieurs solutions ont été envisagées. Du fait du caractère provisoire de la galerie des Marécottes, son alimentation initiale était envisagée avec des pompes séparées. Du fait que le réseau à 50 Hz disponible sur place n'était pas assez puissant pour alimenter ces pompes, seul le système monophasé à 16 2/3 Hz entrainait en considération. En conséquence l'entraînement de ces pompes ne pouvait être réalisé que par des moteurs monophasés 16 2/3 Hz.

La possibilité d'utiliser des moteurs prélevés sur un ancien type de locomotive hors service a été envisagée. La puissance maximale disponible pour les pompes était ainsi définie et limitée. Il était prévu