"Assainissement du barrage de Pian Telessio par découpage au fil diamanté"

Autor(en): **Amberg, Francesco**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **99 (2007)**

Heft 4

PDF erstellt am: **04.06.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-940146

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

«Assainissement du barrage de Pian Telessio par découpage au fil diamanté»

■ Francesco Amberg

Zusammenfassung

Die Staumauer Pian Telessio wurde in den Jahren 1950–1955 im Rahmen der Erstellung der Kraftwerkanlage im Orcotal für die Stromversorgung der Stadt Turin gebaut.

Die doppeltgekrümmte Bogengewichtsmauer weist eine Höhe von 80 m und eine Kronenlänge von 515 m auf und ermöglicht ein Stauvolumen von 24 Mio m³.

Nach einer ersten Periode von 20 Jahren, in welcher das Verhalten den Erwartungen entsprach, sind seit Ende der 70er-Jahre irreversible Verformungen Richtung Seeseite aufgetreten, welche auf eine Alkali-Aggregate-Reaktion zurückzuführen sind. Die radiale Verschiebung im zentralen Bereich der Mauerkrone erreicht derzeit 45 mm, und die Volumendehnung beträgt rund 0,2 mm/m.

Das Betonquellen verursacht sowohl eine Erhöhung der horizontalen Bogendruckspannungen, wie auch die Öffnung der Fuge der Pulvino auf der Luftseite. Diese Öffnung kann bei besonderen Situationen, wie abgesenkter Wasserspiegel und Sommertemperaturen, zu einer erheblichen Steigerung der Druckspannungen am wasserseitigen Fuss führen.

Um diese ungünstigen Situationen zu vermeiden, ist derzeit als provisorische Massnahme eine untere Grenze für die Stauhöhe einzuhalten. Um die Sicherheit der Mauer zu gewährleisten, ist jedoch die Wiederherstellung des ursprünglichen Spannungszustandes anzustreben.

Das Sanierungsprojekt sieht vor, den oberen Teil der Mauer mittels Diamantseil zu schneiden und diese Vertikalschnitte anschliessend zu injizieren um die Bogenwirkung wiederherzustellen. Insgesamt sind 16 Schnitte vorgesehen, wobei die Längsten eine maximale Höhe von 39 m aufweisen. Es ist geplant, im Laufe dieses Jahres einen Versuchsschnitt auszuführen.

Diese Sanierungsvariante ist nicht als endgültige Lösung zu verstehen, da dabei nur den Auswirkungen und nicht der Ursache begegnet wird.

In Zukunft, in 20 Jahren falls die Quellgeschwindigkeit sich nicht ändert, müssen somit weitere ähnliche Sanierungsmassnahmen in Kauf genommen werden.

1. Introduction

Le Comité Suisse des Barrages a prévu une excursion en octobre 2007 au barrage de Pian Telessio en Italie. Le barrage de Pian Telessio souffre d'un gonflement du béton déterminé par la réaction alcali-granulat. Après une première période de 20 ans pendant laquelle le comportement a été parfaitement réversible et régulier, le barrage a commencé depuis la fin des années '70 à se déplacer progressivement vers l'amont. Cette nouvelle situation détermine, en particulier en condition de retenue abaissée en été, une sensible augmentation des contraintes de compression au pied amont du barrage. Afin de garantir la sécurité du barrage pour toutes conditions d'exploitation, la réhabilitation du barrage s'avère nécessaire.

Le projet d'assainissement proposé prévoit le découpage de la moitié supérieure du barrage et la successive injection des nouveaux joints verticaux afin de ré-établir l'effet voûte. L'article présente la situation actuelle et le concept d'assainissement qui à été proposé et qui est en cours de réalisation.

2. Caractéristiques de l'ouvrage

Le barrage de Pian Telessio, situé entre Aosta et Turin sur le versant sud du mont Grand Paradis, a été construit dans les années 1950–55. Il s'inscrit dans le cadre du développement hydroélectrique de la vallée Orco. L'ensemble de l'aménagement, qui comprend six barrages et exploite les eaux sur une chute totale de 2000 m, permet d'alimenter la ville de Turin en électricité avec une puissance maximale de 270 MW pour une production annuelle moyenne de quelque 700 GWh.

Le barrage est de type poids-voûte à double courbure d'une hauteur maximale de 80 m et une longueur du couronnement de 515 m *(Figure 1)*. Le volume du réservoir s'élève à 24 millions m³ avec le niveau normal qui se situe à la côte de 1917 m s.m. L'épaisseur en crête est de 5,7 m pour atteindre 35 m à la base, soit environ le 45% de la hauteur.

Malgré l'attribut de poids-voûte, déterminé évidemment par la grande ouverture de la vallée avec un rapport entre longueur et hauteur de 6,4, le barrage apparaît relativement élancé avec un volume total béton de 380 000 m³.

L'ouvrage, bien optimisé pour contraster la poussée de l'eau, présente une inclinaison importante vers l'amont qui pourrait conduire, par effet du poids propre, à des tractions jusqu'à 1 MPa au pied aval en cas de retenue vide. Pour éviter de

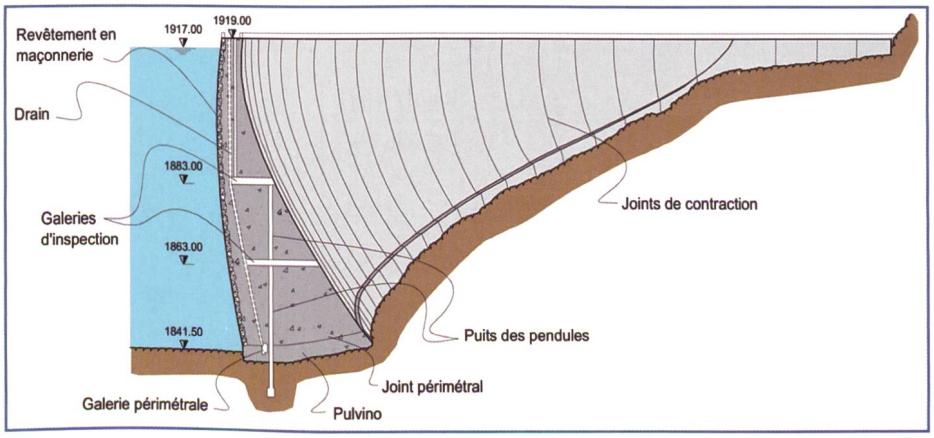


Figure 1. Profil type du barrage.

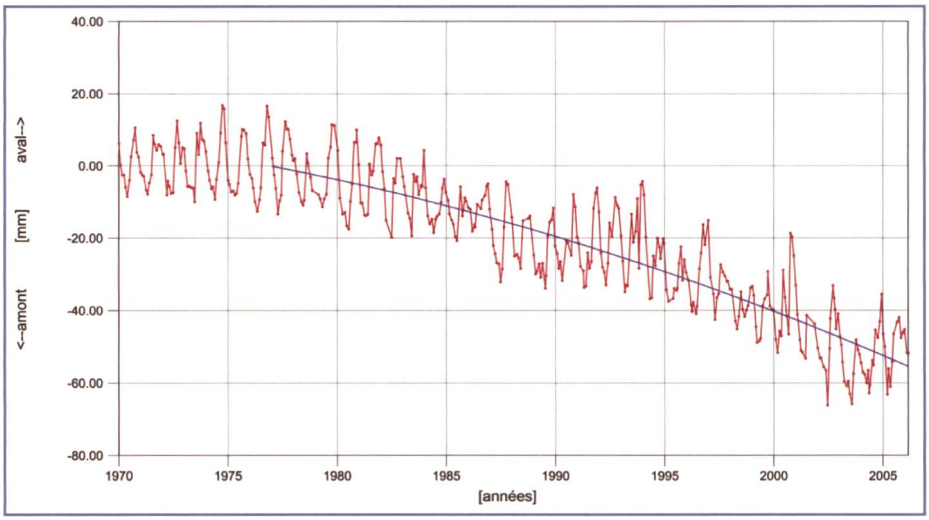


Figure 2. Déplacement radial en clef au couronnement.

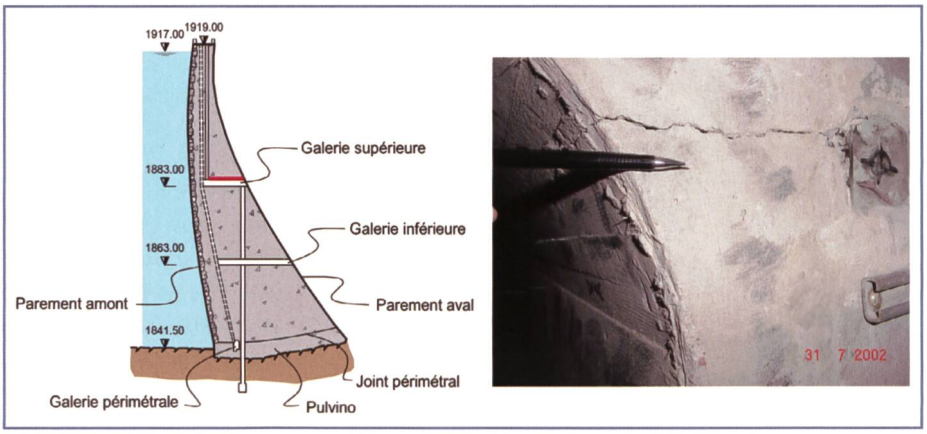


Figure 3. Fissure dans la galerie supérieure.

telles tractions un joint périmétral a été réalisé. Cette configuration de la fondation est typique pour les barrages en Italie.

3. Comportement à l'état actuel

Après une première période de 20 ans pendant laquelle le comportement a été parfaitement réversible et régulier, le barrage a commencé depuis la fin des années '70 à se déplacer vers l'amont *(Figure 2)*. Ce phénomène est déterminé par une réaction alcali-granulat qui conduit au gonflement du béton. Les granulats utilisés pour fabriquer le béton sont essentiellement du gneiss.

Le déplacement irréversible vers l'amont dépasse actuellement en clef de voûte au niveau du couronnement les 50 mm. Dans la partie inférieure du barrage cette déformation est sensiblement réduite. Le gonflement du béton est à l'origine de l'apparition d'une fissure dans la galerie supérieure, qui n'est pas visible sur le parement aval *(Figure 3)*.

4. Analyse statique du barrage

La situation de l'ouvrage a justifié une vérification de son état de sécurité. Naturellement le comportement actuel du barrage est largement déterminé par l'effet du gonflement, qui doit donc être analysé de manière adéquate. La simulation du gonflement par analogie thermique, par exemple, n'est pas suffisante puisqu'elle conduit à des résultats invraisemblables et incohérents avec le comportement observé et les conditions effectives de l'ouvrage. Un élément essentiel à considérer est l'effet des contraintes sur la vitesse de gonflement, qui est ralenti ou même empêché en fonction de l'état de compression *(Figure 4)*. La vitesse maximale, en absence de contraintes de compression, est appelée vitesse de gonflement libre. Celle-ci peut varier selon les circonstances, puisqu'elle dépend de l'ensemble des facteurs qui conditionnent la cinématique de la réaction, telles que la composition du béton, l'eau, la température, la porosité, etc.

Afin de tenir compte de cette caractéristique, une procédure de calcul itératif a permis de simuler le développement du gonflement dans le temps à partir de l'année 1978. Le gonflement effectif se développe donc de manière anisotrope selon l'état de contraintes locales.

4.1 Gonflement

Selon les calculs, la vitesse de gonflement libre est variable sur la hauteur du barrage. Seulement une telle hypothèse peut expliquer la différence entre les déplacements mesurés dans les parties supérieure et inférieure de l'ouvrage. Avec un gonflement libre dans la moitié supérieure d'environ 30 µm/m/année et pratiquement nul dans

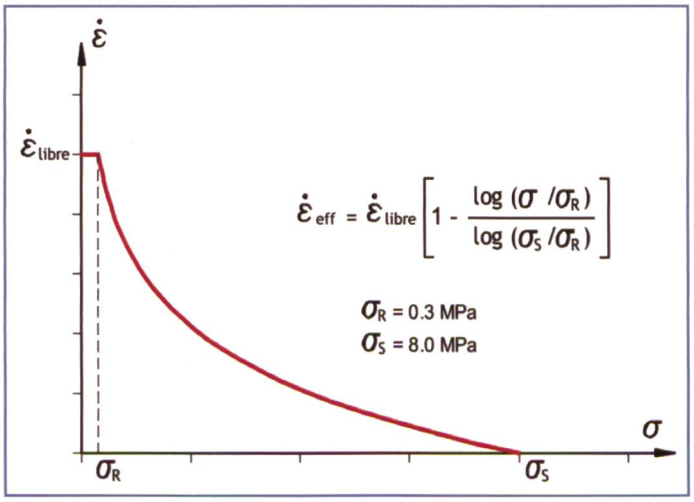


Figure 4. Réaction alcali-granulat, effet des contraintes de compression sur la vitesse de gonflement.

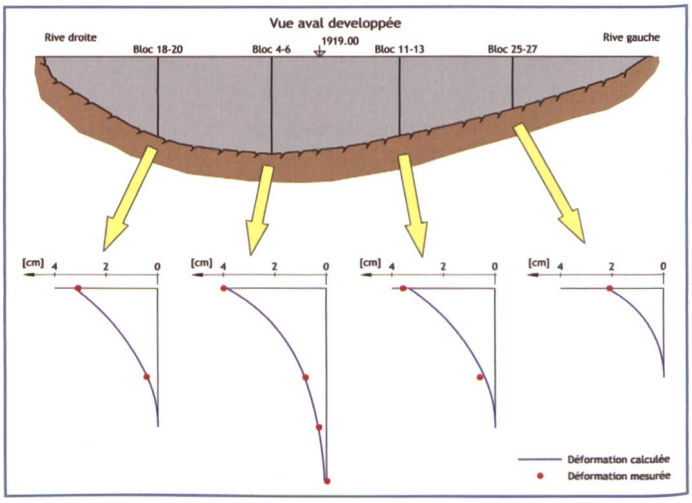


Figure 5. Comparaison des déformations mesurées et calculées.

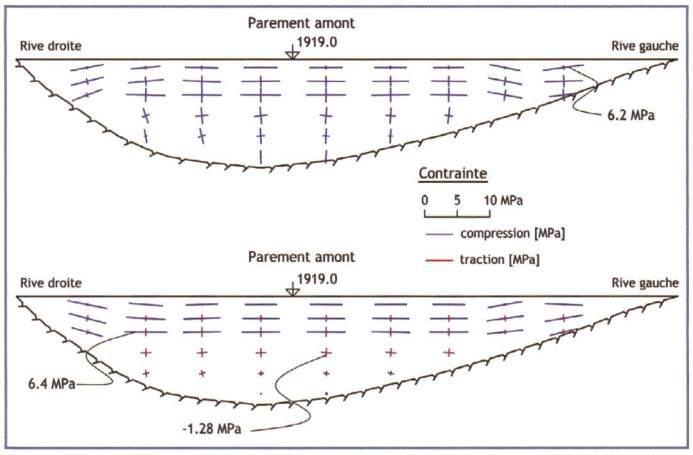
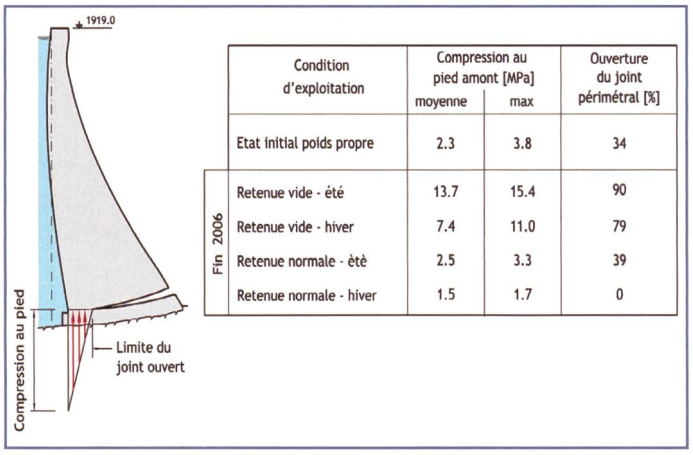


Figure 6. Contraintes principales à lac plein: état actuel avec gonflement.



	Condition d'exploitation	Compression au pied amont [MPa] moyenne	max	Ouverture du joint périmétral [%]
	Etat initial poids propre	2.3	3.8	34
Fin 2006	Retenue vide - été	13.7	15.4	90
	Retenue vide - hiver	7.4	11.0	79
	Retenue normale - ètè	2.5	3.3	39
	Retenue normale - hiver	1.5	1.7	0

Figure 7. Etat de contraintes au pied amont du barrage.

la partie inférieure, les déformations calculées sont concordantes avec les déformations mesurées dans tous les 9 points de mesure et cela au millimètre près. L'erreur maximale par rapport au déplacement du couronnement est de seulement 2,5% *(Figure 5)*.

La raison qui peut expliquer la différence du gonflement sur la hauteur du barrage reste incertaine, tant le processus est complexe. Les documents d'archive indiquent que le barrage a été construit sur deux années, et que le béton de la deuxième année était beaucoup plus perméable en raison d'une modification de sa composition.

Les contraintes maximales de compression dans les arcs sont estimées à 11 MPa et les tractions verticales au droit du parement aval à 2,3 MPa pour les conditions d'exploitation les plus défavorables. Les contraintes principales à lac plein sans charges thermiques sont illustré a la *Figure 6*.

La déformation du barrage vers l'amont engendre l'ouverture du joint périmétral du pulvino du côté aval. Cette ouverture détermine, en particulier en conditions de retenue abaissée en été, une sensible augmentation des contraintes de compression au pied amont du barrage, suite à la réduction de la surface d'appui.

A l'état actuel la compression au pied amont peut atteindre environ 10 MPa en condition d'exploitation normale mais en condition de bassin vide en été cette valeur peut s'élever jusqu'à 15 MPa.

Comparé à une résistance caractéristique du béton de seulement 23 MPa, les marges de sécurité habituelles ne sont plus respectées.

5. Mesures transitoires: consignes d'exploitation

Afin d'éviter les conditions d'exploitation les plus défavorables, une limite inférieure de vidange doit actuellement être respectée *(Figure 8)*. Cette limite, variable en fonction de la saison, tend à s'élever pour s'opposer à la progression du gonflement et donc du déplacement vers l'amont des consoles.

Pour mieux suivre le comportement du barrage, le système d'auscultation a été renforcé de manière à fournir quelques mesures complémentaires et permettre la définition d'un modèle d'interprétation des déformations. Ce modèle, établi à partir de l'analyse statique de l'ouvrage, requiert également des mesures de l'état thermique de l'ouvrage, qui n'étaient pas disponibles. Les thermomètres placés pendant la construction de l'ouvrage sont en effet irrécupérables. A la fin de l'année 2001 six nouveaux thermomètres ont donc été installés près des parements. Une procédure de calcul intégrée dans le programme d'auscultation permet de définir automatiquement après chaque mesure l'état thermique du barrage et cela sur la base de seulement six mesures de température.

Le modèle d'interprétation des déformations permet de vérifier régulièrement si le comportement mesuré de l'ouvrage correspond à celui attendu.

6. Projet de réhabilitation

La condition actuelle de l'ouvrage reste relativement précaire. Le projet d'assainis-

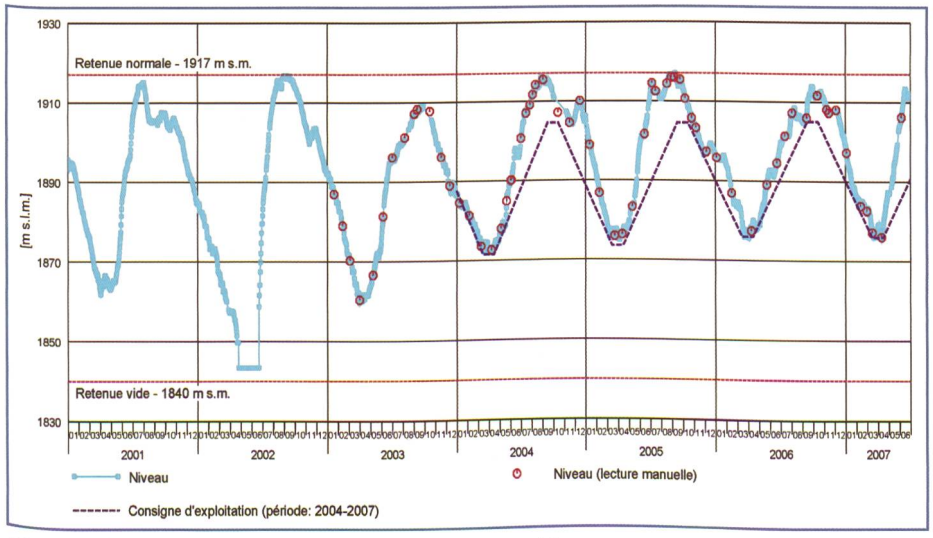


Figure 8. Consignes d'exploitation avec limite de vidange.

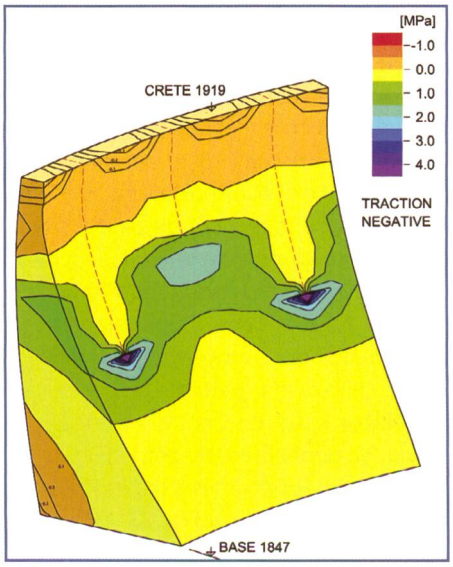


Figure 9. Contraintes tangentielles après le sciage.

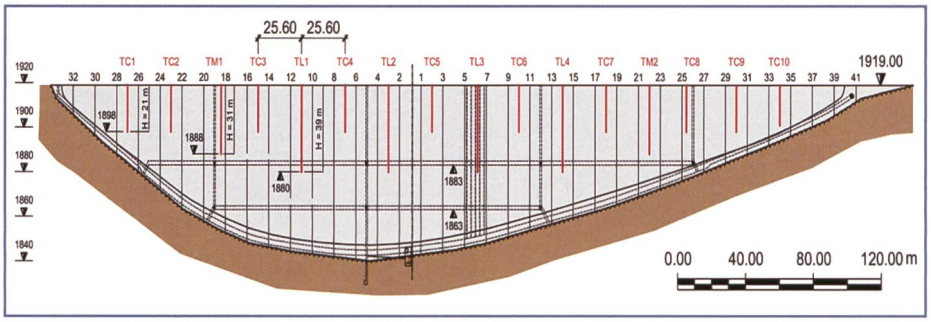


Figure 10. Position des sciages.

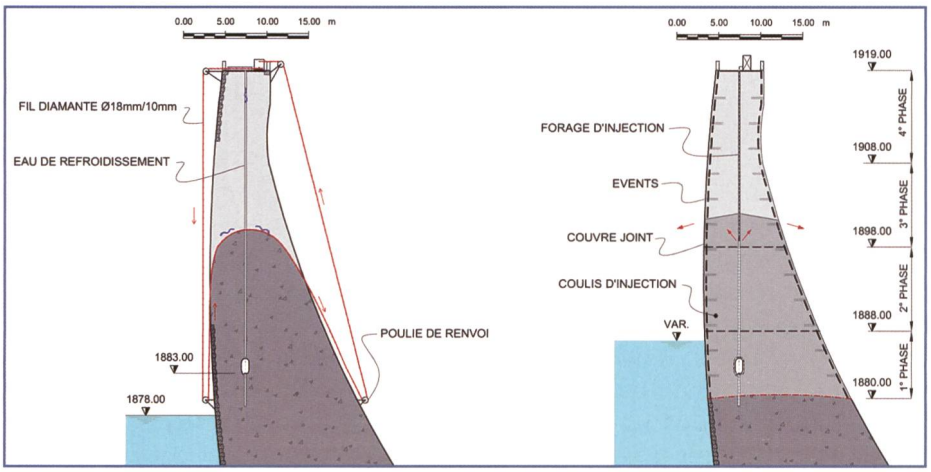


Figure 11. Phases de réalisation: sciage des plots et clavage des joints.

sement doit en premier lieu permettre de rétablir un état de contraintes confortable afin de garantir la sécurité du barrage pour toutes conditions d'exploitation. Les solutions qui permettent d'atteindre ce but ne sont pas nombreuses. Le projet d'assainissement proposé prévoit le sciage de la partie supérieure de l'ouvrage afin de décharger les arcs supérieurs. Le barrage sera transformé temporairement en une structure à blocs indépendants, tel qu'il était à l'origine pendant la construction avant le clavage des blocs. Pour rétablir l'effet de voûte, les nouveaux joints seront successivement injectés.

Le projet de réhabilitation ne prévoit toutefois aucune solution supplémentaire pour limiter ou empêcher le développement futur de la réaction alcali-granulat. Les solutions actuellement envisageables ne donnent en effet pas pleine satisfaction. D'ailleurs ces mesures complémentaires pourront toujours être examinées dans une phase successive de réhabilitation du barrage. La répétition d'une intervention similaire doit donc être prise en compte.

Le sciage permet pratiquement de rétablir l'état de contrainte initial, tel q'avant le gonflement du béton *(Figure 9)*. Les contraintes maximales dans le barrage après les travaux seront de 3,6 MPa pour les compressions et de 2,3 MPa pour les tractions. Ces tractions relativement importantes apparaissent en direction horizontale au niveau du couronnement en cas de retenue vide en hiver. Cela correspond à un comportement déjà présent à l'état initial qui peut éventuellement conduire à l'ouverture de quelque joint de contraction.

La compression au pied amont, qui actuellement peut atteindre jusqu'à 15 MPa, sera réduite à 5,3 MPa.

La technique du sciage avec le fil diamanté a déjà été appliquée avec succès sur d'autres barrages, comme Mactaquac au Canada ou Chambon en France pour citer deux exemples. La particularité de Pian Telessio est que le barrage nécessite l'effet voûte, et donc que les joints doivent successivement être injectés. L'exécution des travaux ne pose donc pas une difficulté particulière.

Le projet prévoit d'exécuter 16 sciages de différentes hauteurs comprises entre 21 et 39 m à l'aide d'un fil diamanté *(Figure 10)*. La distance entre les sciages est de 2 plots, soit environ 26 m. La surface totale des sciages s'élève à 3500 m^2.

Le dispositif de sciage à l'aide du fil diamanté comprend une machine ancrée au parement aval et des poulies de renvoi. Le sciage procède du haut vers le bas et le fil tourne de façon à entrer dans le plot du coté amont afin de pousser les résidus vers l'aval *(Figure 11)*.

Pour garantir une épaisseur minimale de 6 mm pour les injections de clavage, le diamètre du fil est de 10 mm pour les plots courts et 18 mm pour les plots longs, de sorte à compenser les déformations dues au sciage.

Le rendement moyen du sciage est estimé à environ 4 m^2/h.

Avant de procéder aux injections, il convient d'étancher les joints sur les bords. Du côté amont, pour garantir l'imperméabilité à l'eau, les moellons du revêtement seront localement démolis sur toute la hauteur du sciage afin de pouvoir installer un joint étanche.

Le clavage des joints aura lieu au moment approprié quand la température du barrage sera adéquate et effectué par étapes de 10 m afin de limiter l'effet de poussée du coulis d'injection. Des évents posés à des distances de 3 m en hauteur permettent de contrôler la progression du coulis d'injection.

La réalisation des travaux est prévue sur deux saisons avec une interruption hivernale: la première période en automne est prévue pour les travaux préparatoires, le champ d'essais et le sciage des plots courts et la deuxième période au printemps pour l'exécution des sciages longs et pour le clavage de joints. La durée effective de travaux est estimée à 5–6 mois.

Pendant les travaux la retenue doit être légèrement abaissée par rapport à la gestion courante du niveau.

Les coûts totaux de l'assainissement sont estimés à 2,5 mio d'Euro.

Le projet a été approuvé par les autorités de contrôle italiennes et il est prévu de débuter les travaux en automne 2007.

Adresse de l'auteur
Francesco Amberg
Lombardi AG, Beratende Ingenieure
Via R. Simen 19, CH-6648 Minusio
Tel. +41 91 744 60 30
francesco.amberg@lombardi.ch