

Le confortement du barrage du Chambon

CHAMBON DAM REINFORCEMENT WORKS

Olivier Chulliat
EDF-CIH - 37, rue Diderot - BP176 - 38042 GRENOBLE Cedex 9
olivier.chulliat@edf.fr

Bernard Taquet, Jean-Marie Boutet
EDF-CIH – Savoie Technolac – 73373 Le Bourget du Lac
bernard.taquet@edf.fr, jean-marie.boutet@edf.fr

MOTS CLÉS

Alcali-réaction, fissures, contraintes, séisme, tirants, carbone, sciages, membrane

RÉSUMÉ

Le barrage du Chambon est soumis à un phénomène d'alcali-réaction important, entraînant un certain nombre de désordres, conséquences du gonflement du béton. Les principaux concernent l'apparition d'une fissuration verticale dans le barrage, susceptible d'affecter son intégrité sous séisme, et le développement d'importantes contraintes de cisaillement dans la structure.

Une nouvelle campagne de confortement est en cours, dans la continuité de celles réalisées dans les années 1990 : (i) mise en place de 409 tirants précontraints horizontaux traversant la structure d'amont en aval, conçus pour s'adapter aux évolutions futures, complétés par un filet en fibres de carbone en parement amont, dont le dimensionnement est validé par des essais de qualification sur site, (ii) réalisation de 7 traits de scie au câble diamanté en diamètre 16 mm, dont le plus grand mesure 42 m de hauteur et (iii) remplacement de la membrane d'étanchéité existante pour permettre la réalisation des travaux.

Cet article présente les considérations qui ont conduit à l'élaboration du projet, basées sur les résultats de plusieurs campagnes de reconnaissance et sur la mise en œuvre d'un modèle numérique de comportement. Il décrit également les contraintes auxquels les travaux sont confrontés (en particulier la présence d'une route sur le couronnement, l'altitude, la poursuite de l'exploitation de l'aménagement et un planning très serré, avec de nombreuses interférences entre les différents intervenants).

ABSTRACT

Chambon dam suffers severe alkali-aggregate reaction, causing several types of pathologies as a result of the concrete expansion, mainly resulting in important vertical cracking of the structure, likely to affect its integrity under earthquake and important shear stresses in the structure.

New reinforcement works are under progress, in the continuity of those already performed in the 1990's: (i) installation of 409 horizontal prestressed tendons crossing the structure from upstream to downstream, designed to accommodate further evolutions, supplemented with a carbon fiber composite net on the upstream face, which sizing are validated by tests on site, (ii) realization of 7 vertical diamond wire slot cuts in diameter 16 mm, which highest measuring 42 m and (iii) replacement of the existing sealing geomembrane to allow the works.

This paper relates the considerations based on several campaigns of investigation and the implementation of a numerical model of behaviour, which led to the design of the project. It also describes the constraints of the works implementation on site (in particular the presence of a roadway on the dam's crest, the altitude, the ongoing operation of the hydraulic power plant and a tight schedule, with many interfaces between different types of works).

1. INTRODUCTION

Le barrage du Chambon est un ouvrage poids de classe A d'une hauteur de 88 m au-dessus du terrain naturel (137 m sur fondation au droit du sillon glaciaire présent en fond de vallée) et d'une longueur en crête de 294 m, construit entre 1929 et 1935. Il est composé de béton cyclopéen, dont le dosage en ciment varie de 150 à 250 kg/m³. L'axe du barrage est rectiligne en rive droite et en zone centrale et courbe côté rive gauche. Le barrage est situé dans les Alpes, sur la haute Romanche, et accueille sur son couronnement une route d'importance nationale à une altitude de 1042 m. La largeur de l'ouvrage est de 5 m en crête et 70 m à sa base. Le fruit total est de 75% (70% en parement aval et 5% en parement amont pour la zone courante, 75% côté aval avec un parement amont vertical en zone centrale).

Le barrage est soumis à un phénomène d'alcali-réaction important. Les premiers désordres, essentiellement l'apparition de fissures et l'ouverture de reprises de bétonnage, ont été mis en évidence à partir de 1958 sur les deux parements du barrage, ainsi qu'en galerie. A partir de cette date, les résultats de l'auscultation indiquaient un comportement atypique, avec notamment la zone courbe se déformant vers l'amont. Plusieurs campagnes de reconnaissances ont été menées de 1967 à 1996, confirmant la présence d'alcali-réaction et attribuant cette dernière à la nature des granulats utilisés dans la confection du béton. Il est également apparu que le potentiel de la réaction et ses conséquences s'avéraient très disparates dans la structure.

D'importants travaux de confortement ont été menés dans les années 1990, afin de répondre aux désordres dus à l'alcali-réaction, dont les principaux sont (voir figure 1) :

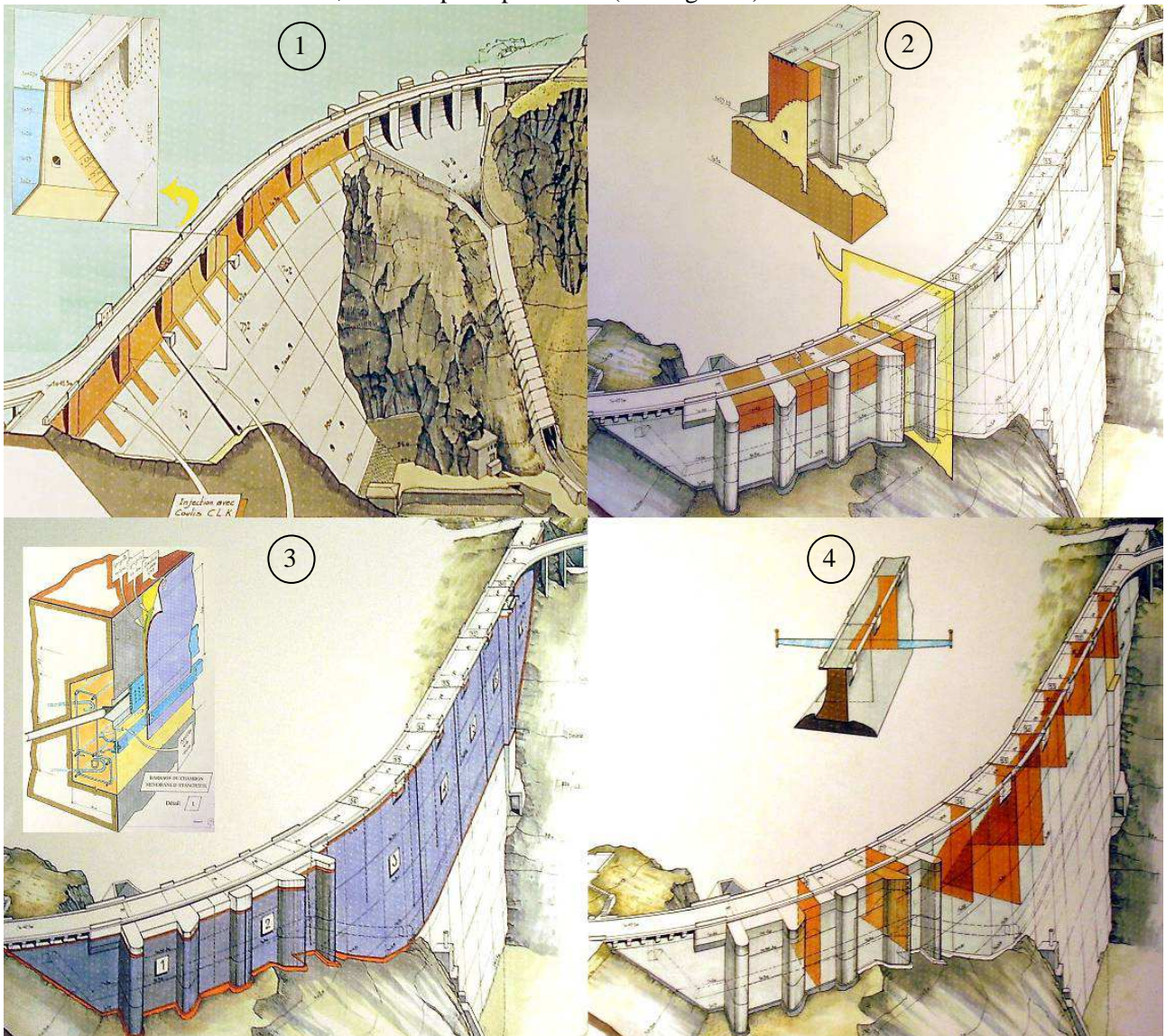


Figure 1 : Travaux réalisés dans les années 1990 en lien avec l'alcali-réaction

1 – Injection de fissures : les joints de construction les plus ouverts ont été injectés en 1992 et 1993 dans les 20 m supérieurs du parement aval, afin d’assurer la stabilité du barrage sous séisme et restaurer l’intégrité de la structure.

2 – Obturation des passes de l’ancien évacuateur de crues : à l’issue de la construction d’un nouvel évacuateur de crues souterrain dans l’appui rive gauche, les quatre passes de l’évacuateur de surface ont été bétonnées, afin de prévenir le coincement d’une vanne ou le cisaillement d’une pile.

3 – Protection amont : une membrane d’étanchéité a été installée sur les 40 m supérieurs du parement amont entre 1991 et 1995, afin d’éviter l’instauration de pressions interstitielles dans l’ouvrage en cas d’ouverture de reprises de bétonnage sous séisme.

4 – Sciages : 8 traits de scie verticaux ont été réalisés au câble diamanté de 11 mm entre 1995 et 1997 dans la partie supérieure du barrage. Ces saignées traversantes amont-aval mesuraient au maximum 32 m de hauteur. Leur objectif était de relâcher le taux de contrainte interne, d’éliminer le risque de cisaillement au sein de l’appui rocheux rive gauche et de réduire les déformations dans la zone courbe.

2. PROBLEMATIQUE ACTUELLE

Un diagnostic complet de l’état du barrage a été réalisé entre 2007 et 2010, basé sur d’importantes campagnes de reconnaissance et sur un modèle de calcul aux éléments finis reconstituant l’état de contraintes et de déformations de l’ouvrage, ce modèle étant calé sur les déplacements et contraintes réels de l’ouvrage. Les investigations in-situ ont essentiellement consisté en les opérations suivantes :

- des forages carottés dans le corps de l’ouvrage pour évaluer les caractéristiques et l’extension des réseaux de fissures,
- des tests en laboratoire sur des échantillons représentatifs des différentes zones du barrage (identification des caractéristiques mécaniques et recherche des phases gonflantes),
- des mesures de contrainte in-situ : vérin plat en parement aval et dans les galeries (conduisant à des résultats parfois douteux) et essais de surcarottage depuis des forages carottés, afin d’obtenir des tenseurs de contraintes tridimensionnels indiquant les contraintes principales et leur orientation (conduisant à des résultats très pertinents),
- une inspection détaillée du contact béton-rocher par imagerie en paroi en forage,
- des essais de caractérisation du rocher de fondation au dilatomètre.

Il est important de noter que les zones les plus endommagées ont été identifiées comme telles par le modèle numérique.

Ces campagnes de reconnaissances et la modélisation ont conduit aux conclusions suivantes :

i) La présence du plan de drainage d’élévation³ (voir la figure 2), alternant des drains verticaux de diamètre 800 et 300 mm séparés par une distance moyenne de 3,20 m a créé un « prédécoupage » le long de l’axe du barrage. Ce paramètre géométrique, combiné à un gonflement différentiel entre l’amont et l’aval au niveau de ce même plan (le taux d’expansion du béton amont, dosé à 250 kg de ciment par m³ de béton est supérieur à celui du béton aval, dont le dosage varie entre 150 et 225 kg/m³), a entraîné la création d’une fissuration verticale dans ce même plan. Les fissures sont présentes dans la plus grande partie de la zone courbe et présentent une ouverture allant de quelques millimètres à environ 4 centimètres. Etant donné que les fissures ne sont généralement pas continues à grande échelle dans le corps de l’ouvrage, la présence d’une plaque amont continue peut être écartée, mais des blocs potentiellement instables sous séisme peuvent exister. Ces blocs seraient définis par les plans suivants :

- verticalement selon la direction longitudinale du barrage : par le parement amont et le plan créé par les fissures reliant les drains (épaisseur variant de 3,20 à 4,80 m, au niveau des 30 m supérieurs de la structure),
- verticalement selon la direction transversale du barrage : par les joints inter-plots et les traits de scie (distants de 5,30 à 16,30 m) et probablement (ce qui n’est à ce jour pas confirmé) à une maille inférieure d’environ 3 m par des fissures amont-aval au niveau des drains, qui constituent des points faibles,
- horizontalement par les reprises de bétonnage (espacées de 2,40 à 2,90 m dans la zone concernée).

³ Par souci de simplification, on appellera « plan » la surface définie par le drainage d’élévation, bien que courbe dans la zone rive gauche.

L'éjection d'un de ces blocs aurait comme conséquence potentielle la mise en communication de la retenue avec les galeries et les réseaux de drainage.

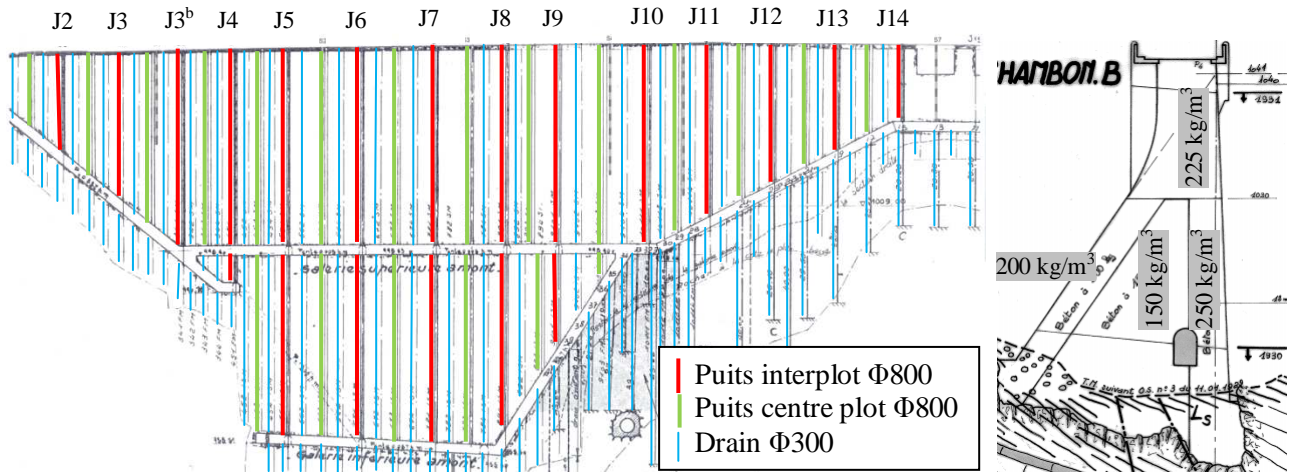


Figure 2 : Réseau de drainage d'élévation vu d'aval et dosages des différents bétons vus en coupe

ii) Le modèle numérique aux éléments finis a par ailleurs montré que les effets bénéfiques des sciages réalisés dans les années 1990 étaient toujours efficaces dans la partie supérieure du barrage, ce que l'auscultation de l'ouvrage confirme, notamment dans la partie courbe (les pendules ont en effet indiqué un déplacement régulier de la crête vers l'amont avant sciage, puis un retour rapide vers l'aval concomitant aux sciages, suivi d'une longue stabilisation et depuis quelques années d'une reprise lente des déformations vers l'amont, indiquant par là-même une fermeture complète des traits de scie et une remise en compression progressive de la structure). Cependant, le modèle numérique a également mis en évidence d'importantes contraintes parallèles aux appuis, qui pourraient conduire à un cisaillement brutal du contact ouvrage/fondation à plus ou moins moyen terme, pouvant laisser craindre l'instauration de sous-pressions importantes. Les orientations de ces contraintes et leur intensité ont été largement confirmées a posteriori par les mesures de surcarottage réalisées au cœur de l'ouvrage à proximité du contact béton-rocher. Néanmoins, on constate aujourd'hui à travers les diverses diagraphies réalisées un excellent état du contact béton-rocher. La prise en compte d'une certaine « adaptation » de la fondation superficielle au niveau de ses discontinuités (adaptation prise en compte dans le modèle) permet d'expliquer cet excellent état.

iii) En dehors des fissures, le béton présente de bonnes propriétés mécaniques (résistances à la compression supérieures à 20 MPa, module de déformation instantanée supérieur à 20 GPa).

iv) Le gonflement du béton se poursuit à une vitesse sensiblement constante et présente un potentiel quasiment équivalent pour une durée de plusieurs siècles.

v) Dans l'appui rive gauche, le contact entre la lentille de calcaire (Trias) et le substratum cristallin (gneiss) est fermé et de bonne qualité. Par ailleurs, les modules de déformation, qui varient entre 6 et 14 GPa, permettent d'exclure tout risque de cisaillement de la surface de contact entre les deux formations sous les pressions internes créées par la poussée du barrage.

Un nouveau projet de confortement du barrage a alors été élaboré, en préparation de la poursuite de l'exploitation de l'aménagement dans de bonnes conditions de sûreté, basé sur les objectifs suivants :

- restaurer la cohésion de la zone fissurée et interdire toute désolidarisation d'un bloc en cas de séisme, en anticipant les effets du gonflement à venir,
- réduire le niveau de contrainte dans le barrage, en particulier le long des appuis, afin d'éliminer tout risque de glissement brutal à l'interface béton-rocher.

Le projet a été soumis à l'approbation du Comité Technique Permanent des Barrages et Ouvrages Hydrauliques et a reçu un avis favorable fin 2011.

3. LE TRAITEMENT DE LA FISSURATION

Le traitement de la fissuration dans le plan de drainage d'élévation est basé sur la mise en place de 409 tirants (voir figure 3). Ces derniers, qui se composent de câbles constitués eux-mêmes de Torons Gainés Graissés de type T15, sont horizontaux, traversent la structure d'amont en aval et sont précontraints. Ils disposent d'une double protection anticorrosion (gaine individuelle pour chaque toron injectée de graisse + gaine générale injectée de coulis de ciment), renforcée côté amont par la présence de la membrane amont sur l'intégralité de la zone renforcée. Il a été décidé de ne pas réaliser d'injection à l'extérieur des gaines générales pour les raisons suivantes :

- l'injection n'aurait vraisemblablement pas été maîtrisée dans un milieu fissuré,
- l'ouverture d'une fissure aurait eu pour conséquence de concentrer des contraintes en un point du tirant, pouvant entraîner un déchirement de la gaine.

La maille moyenne du confortement est $h = 3,70$ m (correspondant à 2 lés de membrane d'étanchéité) et $v = 4$ m. Chaque tirant reprend ainsi environ 15 m^2 de parement amont, mais de nombreuses exceptions existent (maille réduite), du fait de la présence de nombreux obstacles dans le corps de l'ouvrage (galeries, drains, appareils d'auscultation, etc...). Cette maille est sensiblement du même ordre de grandeur que la taille des blocs tels qu'envisagés.

Les ancrages des tirants (passifs côté amont, actifs côté aval) sont entièrement insérés dans des niches, dont les fonds accueillent les aciers de frettage noyés dans un béton première phase. Les niches amont font en outre l'objet d'un bétonnage deuxième phase (noyant les têtes d'ancrage amont et leurs dispositifs de protection). Le diamètre des niches varie de 500 à 650 mm, selon le dimensionnement des aciers de frettage, et leur profondeur de 0,60 à 1,20 m, en fonction de la présence ou non d'une cellule de mesure de la tension.

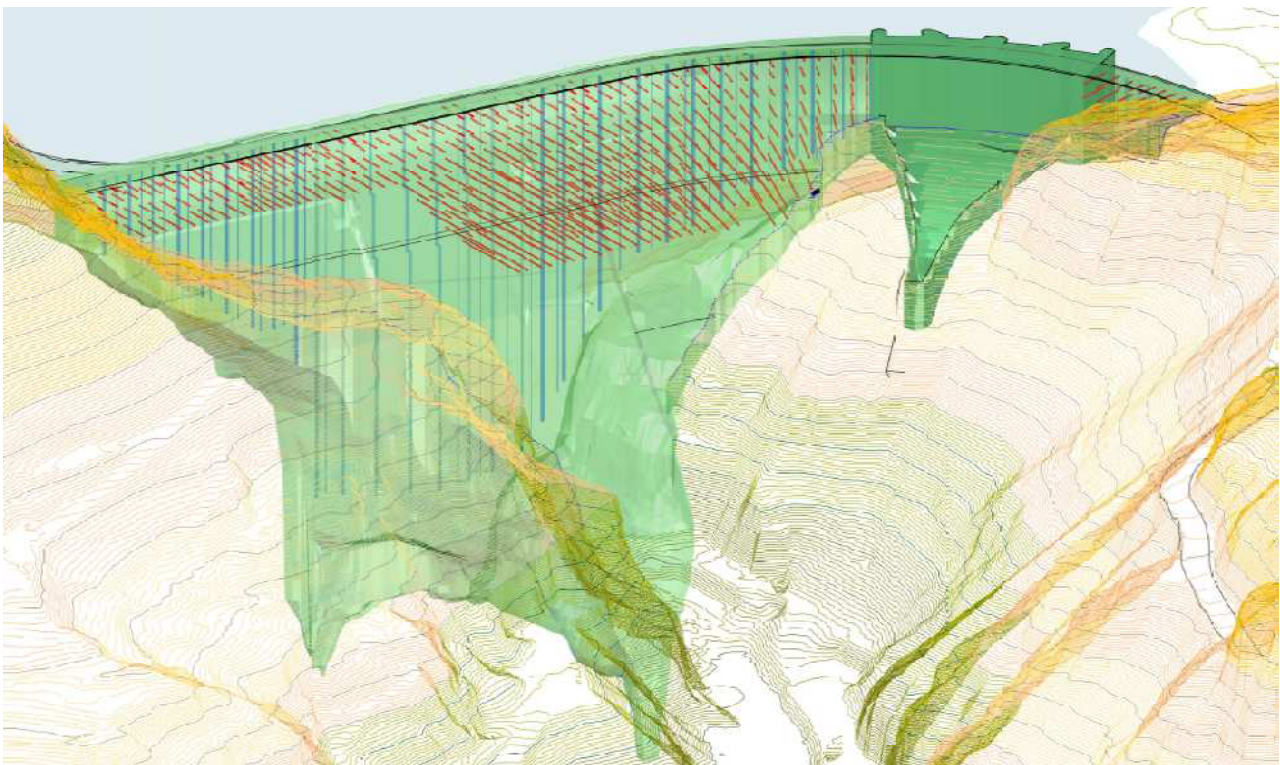


Figure 3 : Tirants vu d'aval (rouge) et plan de drainage d'élévation (bleu)

Une particularité de ce projet est que les tirants seront soumis à deux phénomènes antagonistes :

- une possible fermeture de fissures durant la phase de mise en tension et ainsi la relaxation des tirants précontraints,
- la poursuite du gonflement du béton, entraînant une mise en tension progressive des tirants.

Ainsi, un pesage systématique des tirants sera réalisé 4 semaines après la fin de la mise en tension des tirants d'une zone donnée (une zone correspond à un plot de barrage ou un demi-plot en cas de présence d'un sciage). Dans le cas (peu probable) où une diminution de tension serait notée, une remise en tension serait opérée à la suite, suivie d'un nouveau pesage.

Par ailleurs, la tension de 62 tirants représentatifs des différentes parties du barrage (soit 15% du nombre total) sera suivie à long terme par l'intermédiaire de capteurs à cordes vibrantes (modèle VW3[®] de GéoInstrumentation à 3 cordes vibrantes) reliés au système de télé-auscultation du barrage (voir figure 4). Toute anomalie sera ainsi rapidement détectée. Par ailleurs, une mesure de tension pourra être rapidement réalisée sur ces tirants en cas de séisme. Enfin, des pesages ponctuels sur chaque tirant seront possibles à tout moment (à la réserve près de l'installation de moyens d'accès).

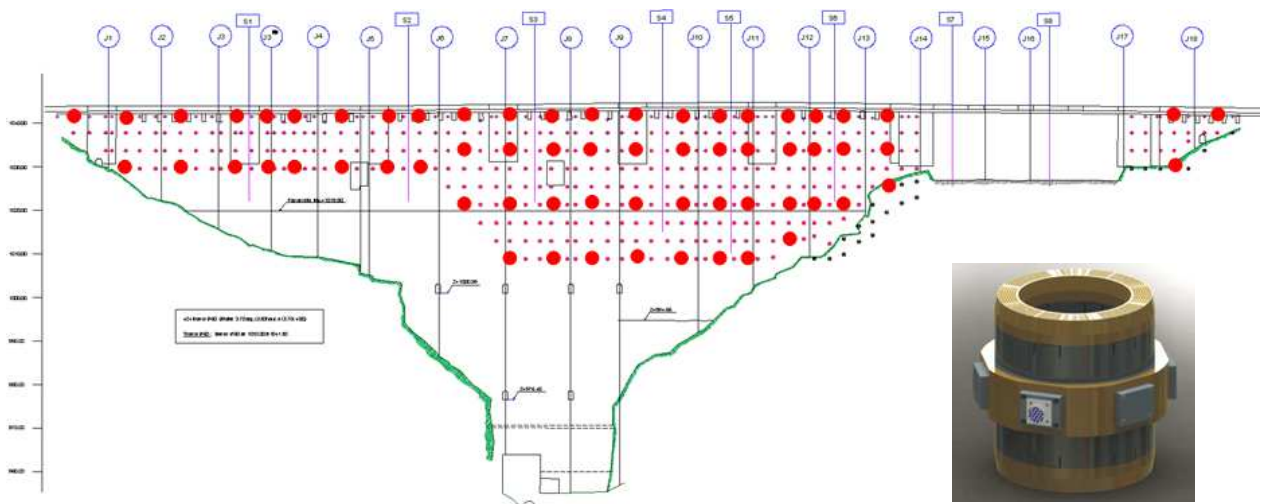


Figure 4 : Tirants auscultés

Afin de maintenir la tension de chaque tirant dans les limites recherchées, les têtes de tirant aval ont été conçues réglables (permettant une remise en tension en cas de relaxation et un détensionnement à l'issue d'une certaine durée de gonflement du béton) :

- une limite inférieure égale à l'effort d'arrachement du bloc sous séisme, permettant d'absorber l'énergie du séisme intégralement en contrainte et éviter ainsi toute mise en mouvement du bloc,
- une limite supérieure égale à 80% de la limite élastique (incluant les efforts du séisme, la traction due au gonflement du béton, la dilatation différentielle entre l'acier et le béton et les incertitudes de mesure).

Le système de réglage de la tension est basé sur le principe d'une bague fileté couissant dans un écrou. Le projet de confortement ayant été dimensionné pour une durée de vie de 50 ans, sous un gonflement moyen de $50 \mu\text{m}/\text{m}/\text{an}$, avec un détensionnement théorique tous les 20 ans (représentant un allongement théorique de 24 mm pour les tirants les plus longs), les pas de vis ont une longueur utile variant entre 7 mm en partie haute et 36 mm en partie basse du barrage.

Le dimensionnement des tirants intègre les hypothèses suivantes :

- des forces d'arrachement sous séisme comprises entre 15 et 80 kN/m², combinaison d'une accélération prise égale à 0,18 g au sol, d'un phénomène d'amplification dû à la structure (x7 en crête) et de la masse du bloc à retenir (dont l'épaisseur amont/aval varie de 2,50 m en crête à 4,20 m en partie inférieure du confortement),
- une poursuite du gonflement du béton considéré à un taux de $50 \mu\text{m}/\text{m}/\text{an}$,
- une dilatation différentielle acier/béton maximale prise égale à 10°C ,
- les incertitudes sur la chaîne de mesure.

Le type des tirants mis en œuvre varie ainsi de 3T15 en partie basse (longueur : 24 m, $369 \text{ kN} \leq T \leq 595 \text{ kN}$) à 7T15 en partie haute (longueur : 5 m, $1060 \text{ kN} \leq T \leq 1388 \text{ kN}$), localement 10T15.

Les 4180 m de forage nécessaires à la mise en place des tirants sont carottés depuis le parement amont, avec une déviation autorisée de 1%. Les forages sont systématiquement inspectés par diagraphie numérique, afin de cartographier les réseaux de fissures et les représenter dans un modèle numérique 3D (orientation, ouverture, état, etc...). En effet, aucune méthode d'investigation non-destructive ne permet de déterminer l'architecture des fissures dans une telle masse de béton.

En complément du système de tirants mentionné ci-dessus, un filet en fibres de carbone est installé sur le parement amont du barrage. Ce dernier est composé de bandes de tissu en fibres de carbone collées à la résine époxy dans le but de créer un matériau composite. Les bandes de 20 à 30 cm de largeur relient les têtes de tirants deux-à-deux, selon des horizontales, verticales et diagonales (voir figure 5).

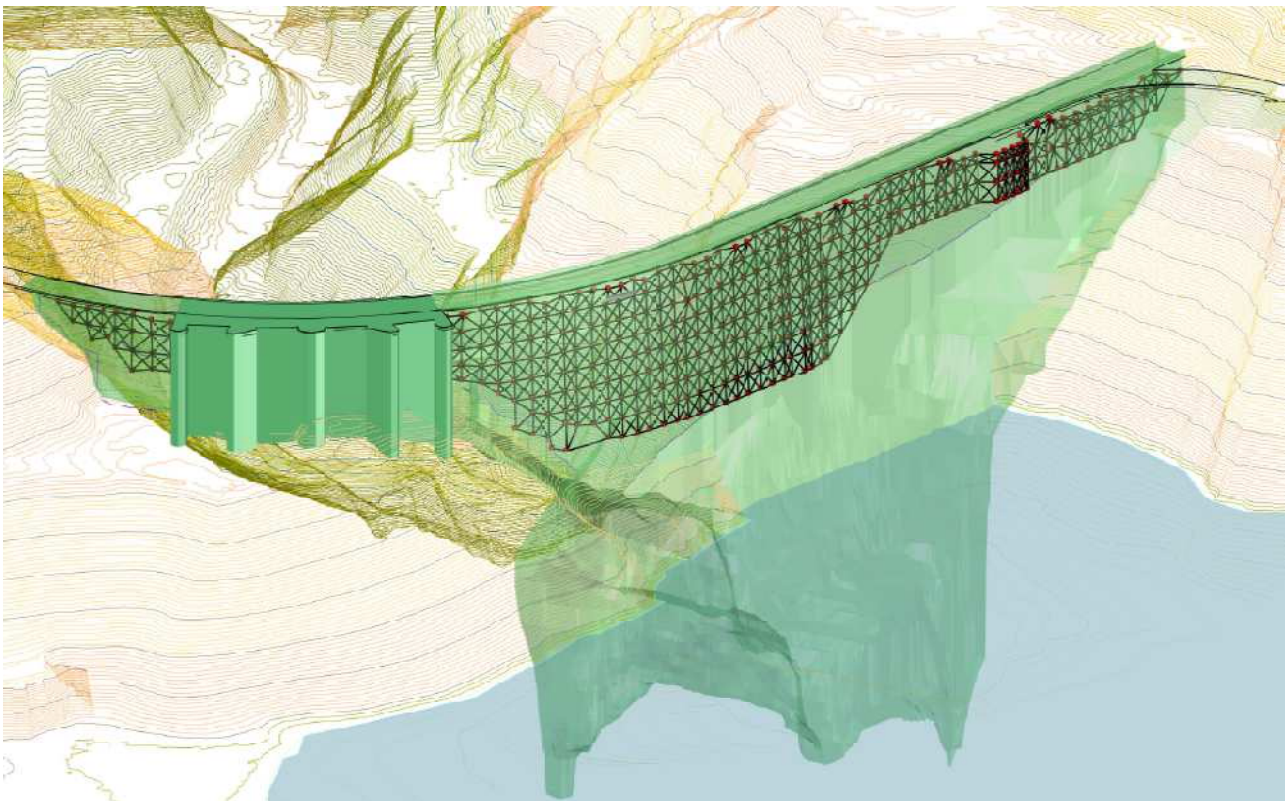


Figure 5 : Filet en fibres de carbone en face amont

La fonction de ce filet est de retenir d'éventuels petits blocs qui n'auraient pas été directement épinglés par les tirants et de retransmettre les efforts d'arrachement aux tirants, ce qui ne modifie pas la conception de ces derniers, puisqu'ils ont été dimensionnés pour reprendre l'intégralité du parement amont concerné.

Les bandes de composite (bandes de carbone collées à la résine époxy), bien qu'elles soient collées sur la surface de béton préalablement poncée, sont dimensionnées pour se déformer selon une « chaînette » et résister en traction aux contraintes générées par le séisme. Un dispositif d'ancrage permet la connection entre les bandes de fibres de carbone et le bloc d'ancrage amont des tirants, en béton armé. Ce dispositif est composé d'une plaque annulaire inox disposée en entrée de niche, maintenue chacune par 8 tiges filetées de diamètre M20 à M39 ancrées dans une platine annulaire disposée en fond de niche (voir figure 6). Les bandes carbone sont maintenues serrées contre le bloc d'ancrage du tirant par la plaque inox. Les fibres des bandes sont localement écartées, afin de contourner les tiges filetées, sans que cela nuise à leur résistance. La plaque d'accrochage est ensuite recouverte de résine, afin de présenter une surface lisse pour permettre la remise en place de la membrane d'étanchéité.

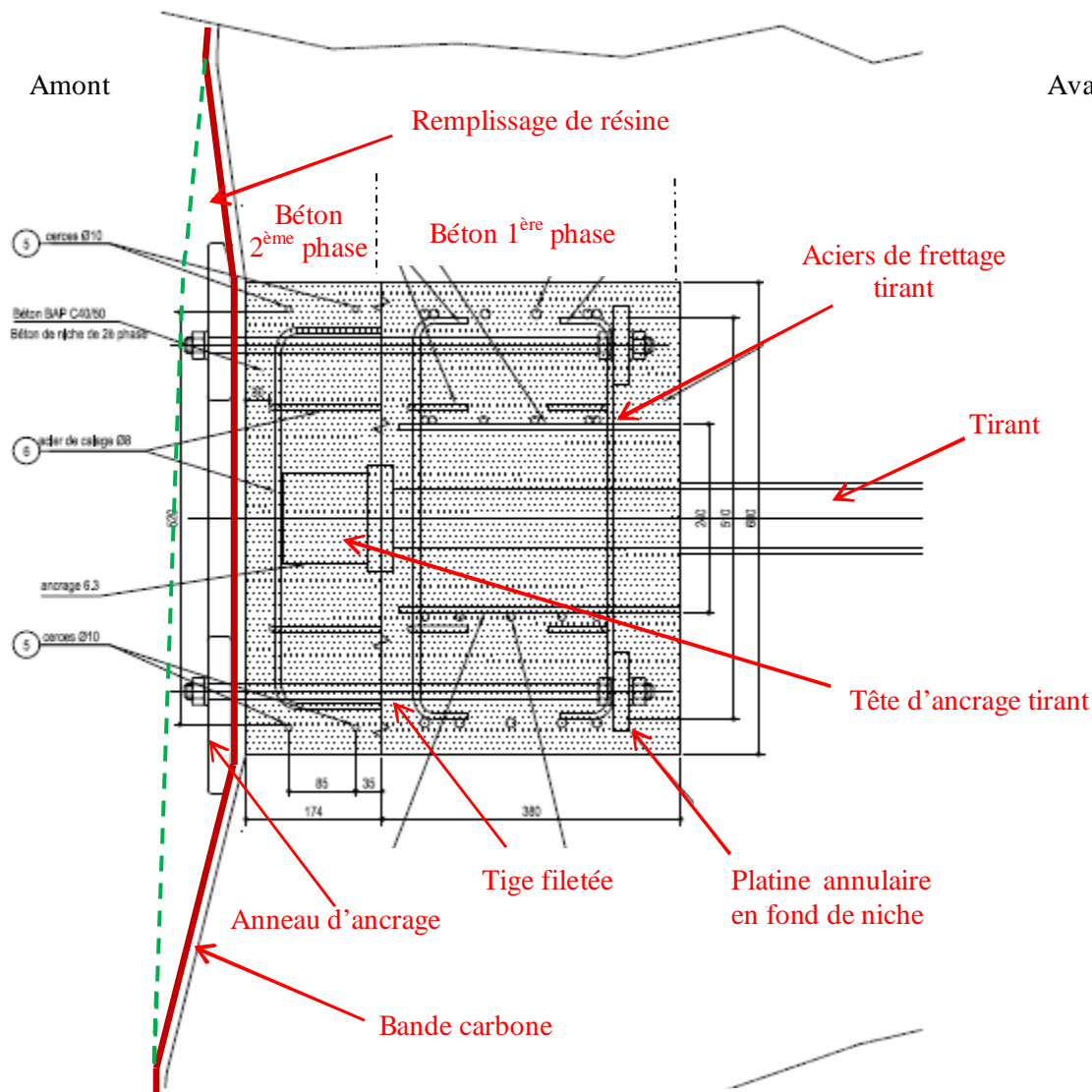


Figure 6 : Principe d'accrochage des bandes carbone

Les bandes sont continues en zone courante, c'est-à-dire qu'elles relient plusieurs têtes de tirants entre elles. Les bandes qui en théorie enjambent des angles rentrants ne sont pas mises en place (exemple : entre les dés de soutènement de la chaussée et le parement du barrage), car inefficaces.

La capacité de chaque bande est obtenue en superposant le nombre de couches nécessaires, de largeur 20 ou 30 cm. Un pré-dimensionnement du dispositif a été réalisé selon les valeurs théoriques de résistance du matériau. Si la mise en œuvre de matériau à base de carbone est courante dans le domaine du génie civil pour conforter des ouvrages anciens, son utilisation de carbone comme « filet antisismique » est relativement innovante. Aussi, des essais de qualification du dispositif sont également réalisés, incluant bandes et dispositifs d'accrochage, dont les résultats sont pris en compte assortis d'un coefficient de sécurité dans le dimensionnement définitif, dans le cas où les essais indiqueraient des valeurs de résistance moindre que la théorie. La réalisation des essais a demandé la construction d'un banc d'essai sur site. Leur principe est de simuler la présence de tirants par la mise en place de plot béton ancrés dans une dalle en béton armé. Des bandes relient les plots deux-à-deux horizontalement, à une échelle comparable à la dimension de la maille du confortement. Les tests consistent en l'application d'une force en milieu de bande, simulant les efforts d'arrachement d'un bloc, jusqu'à rupture de la bande ou du dispositif d'accrochage.

4. LE TRAITEMENT DES CONTRAINTES ET DES DEFORMATIONS

Une nouvelle campagne de sciage par câble diamanté a été définie à l'aide du modèle numérique, avec pour objectifs :

- (i) d'éviter la remise en compression de la partie supérieure de la structure (entamée depuis quelques années, selon les résultats de l'auscultation),
- (ii) de réduire les contraintes de cisaillement parallèles aux appuis.

Les traits de scie suivent les mêmes empreintes que dans les années 1990, aux exceptions suivantes près :

- le sciage S3 situé en partie centrale du barrage n'est pas repris, du fait de la présence d'un câble de sciage resté coincé dans la section lors des dernières campagnes,
- les deux sciages encadrant S3 (S2 et S4) sont approfondis à une hauteur de 42 m, représentant chacun une surface de 650 m², afin de compenser le non-resciage de S3, mais surtout d'augmenter leur efficacité vis-à-vis de la réduction des contraintes le long du contact béton-rocher,
- le câble diamanté présente un diamètre de 16 mm (au lieu de 11 auparavant), afin de profiter des avancées technologiques depuis les années 1990 et limiter le risque de coincement en cas de non-fermeture des traits de scie précédents et d'utilisation d'un câble de même diamètre.

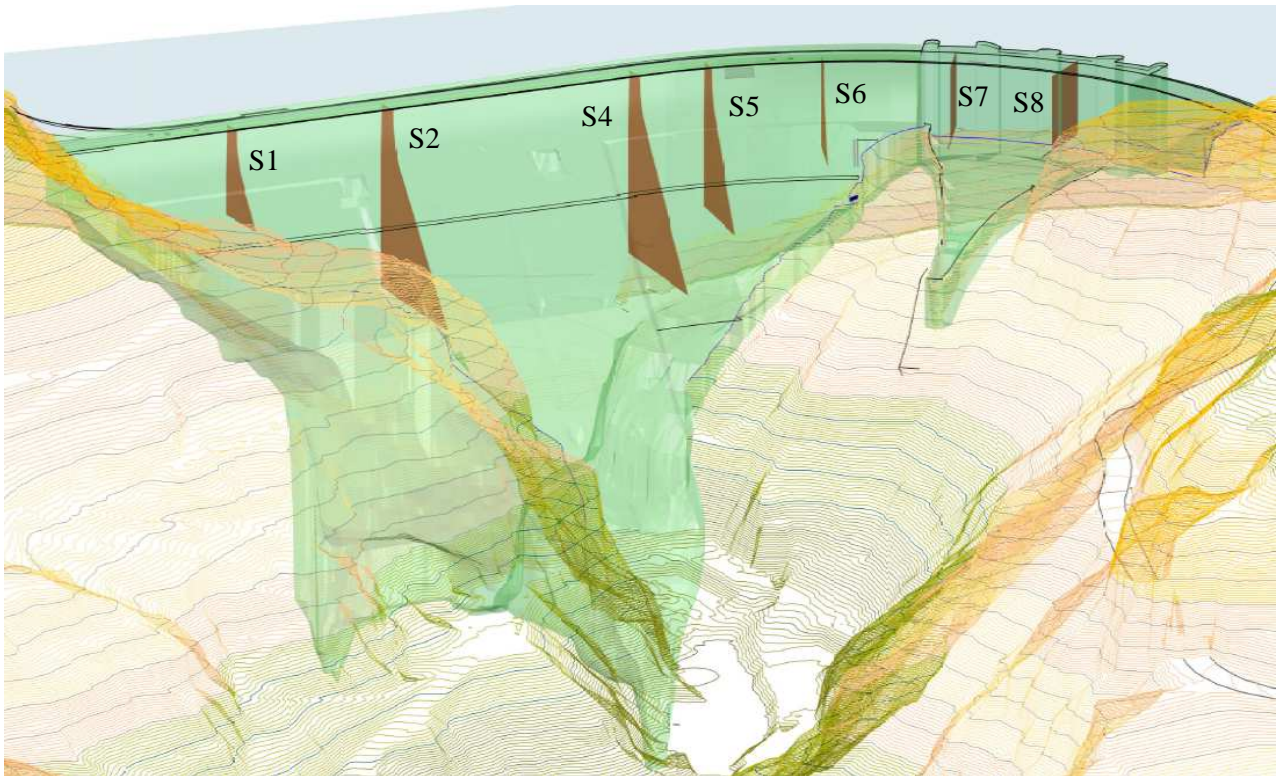


Figure 7 : Nouvelle campagne de sciage

Alors que le caractère innovant de cette technologie dans les années 1990 avait conduit à la réalisation de 3 campagnes de 1995 à 1997 (le barrage du Chambon était alors le second ouvrage à subir ce type de traitement dans le monde), les progrès technologiques permettent désormais de meilleurs rendements et autorisent le traitement des 2 500 m² en six mois, à l'aide de deux ateliers en parallèle.

5. LA REALISATION DES TRAVAUX

Le site présente un certain nombre de contraintes, dont les principales sont évoquées ci-après, qui ont conditionné les modes opératoires et le planning du projet :

- la présence d'une route d'importance internationale sur le couronnement, reliant Grenoble à l'Italie, desservant un certain nombre de grandes stations de sports d'hiver et ne pouvant être déviée,
- l'altitude (plus de 1 000 m), au cœur des Alpes, avec des températures hivernales relativement basses et des chutes de neige importantes,
- une zone écologiquement sensible, à proximité du Parc National des Ecrins et d'espaces protégés,
- la poursuite de l'exploitation de l'aménagement,
- un planning serré, avec de nombreuses interférences entre les différentes opérations.

La mise en place des tirants et du maillage carbone demande bien entendu la dépose des 9 000 m² de la membrane d'étanchéité existante (voir figure 8) et la mise en place d'une membrane neuve équivalente après travaux. Cette opération, la première de ce type pour un ouvrage exploité par EDF, sera l'occasion de réaliser des tests de laboratoire sur des échantillons de membrane déposée, afin d'évaluer l'effet de son exposition au marnage de la retenue et aux rayons UV sur son vieillissement. Les interventions sur la membrane sont essentiellement réalisées à partir de nacelles suspendues, avec la mise en place d'une circulation alternée en dehors des périodes de forte affluence touristique.

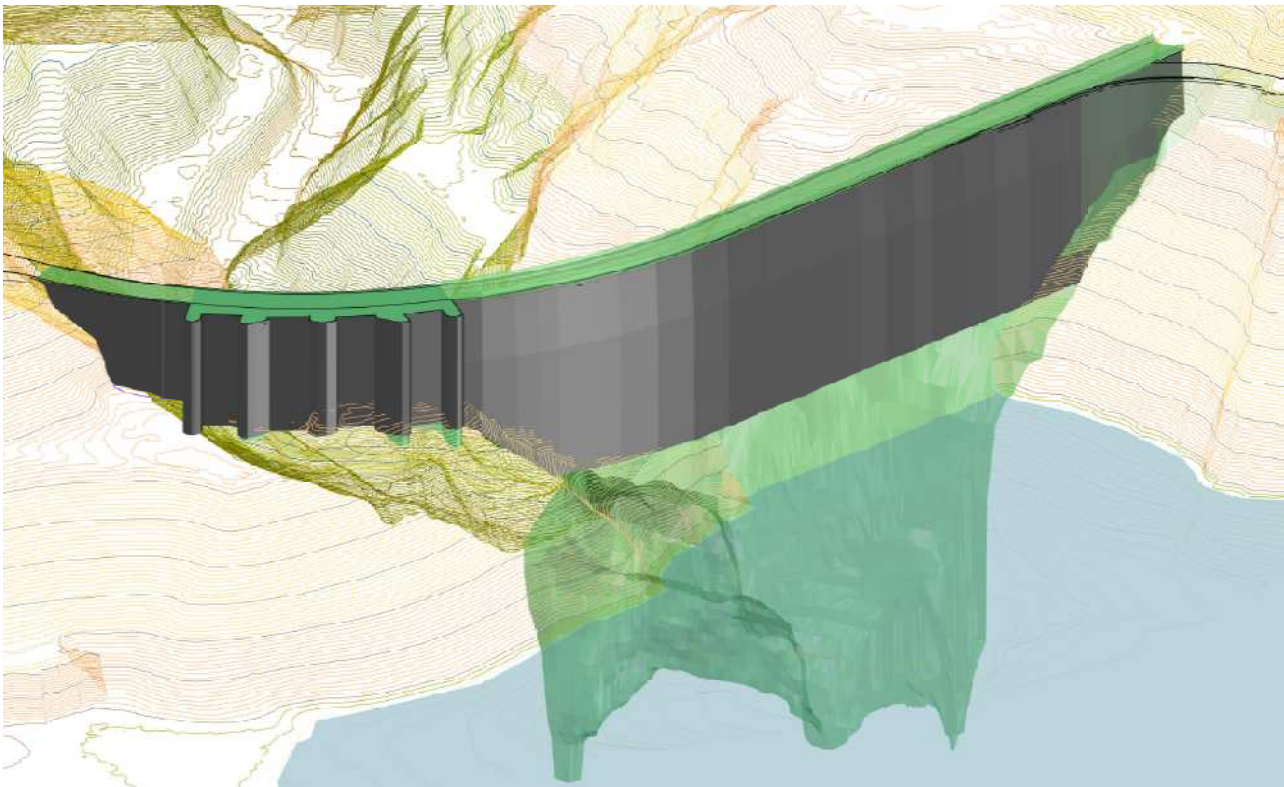


Figure 8 : Membrane d'étanchéité amont

Les travaux sont également mis à profit pour la réalisation de quelques opérations complémentaires, dont la réfection de la gunite du parement aval (dont la dégradation est liée aux cycles de gel-dégel plutôt qu'à l'alcali-réaction).

Les accès aux différents ateliers sont assurés par des échafaudages au niveau des zones traitées sur les deux parements du barrage (plus de 11 000 m² couverts). Les plateformes principales des échafaudages sont disposées environ 1 m en-dessous des têtes des tirants, avec un espacement vertical de 4 m, complétés de niveaux intermédiaire permettant la mise en place du maillage carbone en parement amont et la réparation de l'enduit de surface en parement aval. Les échafaudages sont complétés par des nacelles suspendues dans les zones non-confortées, pour permettre les opérations suivantes :

- la dépose de la membrane d'étanchéité existante et la mise en place d'une nouvelle membrane,
- la purge de la gunite dégradée en parement aval et son ragréage,
- l'inspection détaillée de la partie basse du parement amont, à l'occasion de la visite décennale de 2013.

Les manutentions sont essentiellement assurées par deux grues à tour d'une capacité de 3 tonnes en bout de flèche (75 m), permettant de desservir la quasi-totalité du site. L'une est installée en pied amont de l'ancien évacuateur de crues, l'autre se situe en parement aval côté rive droite, sur un ancien plot de grue remis en état pour l'occasion. Une structure métallique enjambant la chaussée en milieu de barrage permet le passage des charges entre l'amont et l'aval.

Dans l'attente de la finalisation du confortement et de la requalification de l'ouvrage, prévue en 2015, le niveau d'exploitation de la retenue a été abaissé de 30 m. Un creux préventif de stockage d'une crue d'occurrence décennale est par ailleurs maintenu en-dessous des points bas du chantier.

La réalisation des travaux est prévue de janvier 2013 à décembre 2014. Le planning des travaux s'adapte aux périodes d'abaissement naturel de la retenue, durant la saison hivernale, où les apports hydriques sont moindres, ainsi qu'aux périodes à risques en termes de crues, liées à la fonte de la neige au printemps. Ainsi, le premier hiver est consacré à la dépose de la membrane d'étanchéité existante et à la réalisation des sciages profonds, le second à la mise en place des tirants et du maillage amont dans les zones basses, afin de limiter les pertes d'exploitation et l'exposition aux risques de crue.

Le projet a été divisé en trois lots principaux :

- le lot 1 (tirants, maillage carbone, échafaudages, grues, réfection du parement aval), attribué à un consortium Bouygues Travaux Publics Régions France – VSL France et Bouygues Construction Services Nucléaires,
- le lot 2 (sciages au câble diamanté et accès spécifiques), attribué à l'entreprise italienne Marietta s.p.a., qui fut en charge des opérations de sciage du barrage de Pian Telesio (Italie) durant les années 2008 et 2009,
- le lot 3 (dépose de la membrane d'étanchéité existante et remise en place d'une membrane neuve), attribué à l'entreprise Carpi.

6. REFERENCES

[1] Barrage du Chambon, Confortement de la structure, projet soumis au Comité Technique Permanent des Barrages et Ouvrages Hydrauliques (CTPBOH), EDF-CIH, EDF-UP Alpes, France, juillet 2010

[2] O. Chulliat, E. Grimal, E. Bourdarot, J.M. Boutet, B. Taquet, Le gonflement des barrages en béton. Apports des recherches scientifiques : application au barrage du Chambon et à son confortement, 24^{ème} congrès des grands barrages, Kyoto, mai 2012