

Barrage de Carcès sur Le Caramy (Var) :

une décennie 1990 fructueuse en études et travaux de remise à niveau

Patrice Mériaux	Cemagref Aix-en-Provence Unité de Recherche Ouvrages hydrauliques et Equipements pour l'Irrigation
Joseph Gautier	Bureau d'études Coyne et Bellier
Olivier Hatet	Bureau d'études Coyne et Bellier

Résumé :

Le barrage de Carcès a été construit en 1933 et 1934 et crée une retenue sur le Caramy de 8 hm³ destinés à l'alimentation en eau potable de la Ville de Toulon.

Le barrage est constitué d'une digue en terre de 14 mètres de hauteur fondée en partie centrale sur des alluvions et reposant en rives sur le rocher. Cette fondation compressible est à l'origine de l'un des comportements les plus marquants de l'ouvrage : depuis sa construction, on enregistre un tassement de la digue de l'ordre de 60 cm en crête.

Au cours de la vie de l'ouvrage, le dispositif d'auscultation a été sans cesse étoffé permettant une meilleure compréhension du comportement du barrage – mais c'est durant la dernière décennie que la sécurité du barrage a été considérablement améliorée : l'installation de 3 nouvelles vannes-clapets et l'élargissement du canal de fuite ont permis d'augmenter la capacité de l'évacuateur de crues tandis que, dans le même temps, des travaux de recharge du talus aval permettaient de diminuer les risques de glissement de l'ensemble de la digue.

Abstract :

The Carces dam was built between 1933 and 1934. It creates an 8 hm³ reservoir on the Caramy river, supplying City of Toulon with drinking water.

The dam is made of a 14 meter height earth dike. The central part is founded on alluviums meanwhile both sides are on bedrock. Since the construction was completed, a continuous settlement has been observed due to the compressive foundation level under the central part and is presently of 60 centimetres length.

For the operating period, the monitoring system has been gradually improved, leading to a better understanding of the dike behaviour. During the last ten years, the security has increased with the installation of three new flaps-gates and the enlargement of the overflow channel. In the same time, reinforcement of the down stream embankment terminated the enhancement of the dike stability.

I - PRESENTATION DU BARRAGE

Le barrage de Carcès est un ouvrage rectiligne en terre, de 14 mètres de hauteur pour 160 mètres de longueur en crête, construit en 1933-1934 et doté d'un masque amont en béton armé. Il crée une retenue d'environ 8 hm³ de capacité, destinée à l'alimentation en eau potable de la Ville de Toulon.

L'ouvrage vient de connaître (de 1993 à 1997) une phase importante de travaux de mis en conformité, ayant pour principal objet d'augmenter la capacité de l'évacuateur de crues et d'améliorer la sécurité du remblai. Dans le prolongement de ces travaux, il a été procédé, au cours de l'hiver 1998-1999, à la vidange décennale du barrage.

Le Cemagref est chargé d'une mission d'assistance au service de contrôle (D.D.A.F. du Var) et, à l'occasion de la visite décennale, a rédigé un rapport sur la sécurité du barrage. Le bureau Coyne et Bellier, quant à lui, est chargé d'une mission d'assistance au maître d'ouvrage (Ville de Toulon) pour le suivi du barrage et a été maître d'œuvre des travaux de confortement. Le présent article propose une synthèse des éléments techniques issus de ces deux missions complémentaires.

I.1 - Fiche synoptique

. Propriétaire : Ville de Toulon.

. Exploitant : Compagnie de l'Eau et de l'Ozone.

. Service de contrôle : D.D.A.F. du Var.

. Assistance technique pour la surveillance et la maintenance : Coyne et Bellier.

. Cours d'eau : le Caramy - Bassin versant : 440 km².

. Hydrologie (étude la plus récente : 1986) :

- $Q_{i_{100}} = 490 \text{ m}^3/\text{s}$

- $Q_{i_{1000}} = 780 \text{ m}^3/\text{s}$

- $Q_{i_{5000}} = 980 \text{ m}^3/\text{s}$

- $Q_{i_{10000}} = 1065 \text{ m}^3/\text{s}$

. Hauteur maximale (par rapport au terrain naturel) : 14 m.

. Cote de la crête : 170 m NGF – Largeur de la crête : 5,5 m – Parapet amont de 1,2 m.

. Fruit des parements : 1,5 amont et aval à l'origine, globalement radouci côté aval par la construction en 1996 d'une recharge drainante. Parement amont revêtu d'un masque en béton armé (cf photo 2 en annexe 1) de 12 cm d'épaisseur.

. Capacité de la retenue : 8 hm³ à la cote normale 169 NGF.

. Drainage du remblai : néant à l'origine. Dispositifs de drainage du parement aval depuis 1993.

. Dispositifs d'étanchéité : remblai étanche dans sa masse, contribution non vérifiable du masque amont. Pas de traitement en fondation.

. Evacuateurs de crues :

- évacuateur de surface à seuil contrôlé par 3 vannes clapets à vérins hydrauliques de 26,5 m de longueur chacune (cf photo 5) : 820 m³/s de capacité sous la cote 170 NGF ;
- évacuateur de fond contrôlé par une vanne wagon de capacité maximum 200 m³/s (sous 170 NGF).

. Dispositif d'auscultation : initialement constitué de quelques piézomètres ouverts, il compte actuellement 12 cellules de pression interstitielles, 36 piézomètres, 1 tassomètre et 1 inclinomètre en service (cf vue en plan en annexe 2). Un suivi topométrique de 9 repères en crête et de 46 cibles de surveillance du masque amont complète ce dispositif.

. Vidange par vanne de demi-fond (2,6 m x 2,6 m) et vanne de fond de l'évacuateur (4 m x 5 m) : cf photo 1.

I.2 - Gestion du barrage

La gestion du barrage est saisonnière :

- du 1^{er} novembre au 1^{er} avril, les vannes clapets sont maintenues en position basse pour laisser passer les crues. Durant cette période, le niveau de la retenue est généralement inférieur à la cote 166,65 NGF (cote du seuil) sauf en cas de crue importante ;
- à partir du 1^{er} avril, les vannes sont remontées et le niveau de la retenue atteint rapidement la cote maximale de 169 NGF.

I.3 - Particularités du barrage

I.3.1 - Traitement de la fondation

Le remblai repose sur une couche épaisse (30 m) et hétérogène d'alluvions fines (silts et argiles, plus ou moins tourbeux, vaseux ou sableux), d'origine essentiellement lacustre, vers l'axe de la vallée et directement sur le calcaire fracturé (dolomies de l'Hettangien) du substratum, au niveau des appuis en rive. La présence de cette accumulation de sédiments alluviaux a contraint les ingénieurs à renoncer au projet initial (barrage en maçonnerie) pour une digue en terre fondée sur les alluvions. La constitution de la fondation a pu être reconnue grâce aux quatre campagnes de sondages qui se sont succédées (1934, 1976, 1978 et 1993) au cours de la vie du barrage.

A la conception de l'ouvrage, l'étanchéité de la fondation alluvionnaire devait être assurée par un parafouille de palplanches en béton battu depuis le pied amont du remblai et raccordé au masque bétonné du parement amont. Or, l'apparition d'importants tassements en cours de construction a conduit les concepteurs à élargir l'assise du remblai étanche notamment vers l'amont et à abandonner la réalisation du parafouille initialement prévu. De fait, l'étanchéité de la fondation repose sur la longueur du trajet de percolation des eaux dans les alluvions sous le remblai.

I.3.2 - Constitution du corps en remblai

Les matériaux de constitution du remblai originel proviennent d'une zone d'emprunt alluvionnaire exploitée dans la cuvette en amont du barrage et sont de nature proche de celle des sols de fondation (cf § I.3.1). L'arrêté préfectoral du 4 février 1933 mentionne que le barrage sera "constitué par un corroi de sable argileux comprimé énergiquement par le passage du matériel à traction automobile à chenilles apportant la terre et pesant au moins 10 tonnes". De telles dispositions de mise en œuvre sont a priori attestées par les quelques photographies du chantier dont on dispose dans les archives.

Les reconnaissances géotechniques les plus récentes (1993) confirment la provenance et la nature hétérogène des matériaux du remblai : sables silteux ou argileux, avec variation des faciès et présence de niveaux lenticulaires sableux, parfois même caillouteux. Les essais de laboratoire effectués sur des échantillons intacts prélevés lors de ces reconnaissances montrent leurs faibles compressibilité et perméabilité (de l'ordre de 10^{-10} m/s) ainsi qu'un état plus serré et cohérent que celui des matériaux de fondation, de caractéristiques granulométriques pourtant similaires : ce qui tendrait à prouver que le remblai a subi un compactage efficace à sa mise en œuvre.

Le parement amont du remblai a été revêtu dès l'origine par un masque constitué de dalles minces (8 à 12 cm d'épaisseur) en béton armé, qui devait se raccorder à l'étanchéité de fondation par l'intermédiaire d'un parafouille de pied amont en palplanches béton. Comme ce dernier n'a finalement pas été exécuté, le masque en béton a été prolongé subhorizontalement (cf photo 2), sur quelque 25 mètres au delà du pied amont (pour rejoindre le batardeau de dérivation provisoire du Caramy). Aussi, la fonction principale du masque est celle de protection mécanique du parement amont et la contribution qu'il apporte à l'étanchéité globale du barrage est difficile à apprécier.

I.3.3 - Dispositif de drainage

A l'origine, le seul dispositif de drainage du barrage était formé par une risberme de pied aval (cote supérieure : 160 NGF), constituée de débris de tuf calcaire pris dans une matrice argileuse et réputée plus perméable que le reste du remblai.

En novembre 1993, suite à l'apparition d'une tache d'humidité sur le talus aval du remblai, des travaux de drainage ont été entrepris en urgence :

- construction de 24 tranchées drainantes d'une profondeur de 2 m suivant le rampant du talus, remplies de sable et espacées de 5 m ;
- forage, depuis chaque tranchée (à la cote 161,4 NGF : soit 1,4 m au dessus du toit de la risberme aval), d'un faisceau de trois drains subhorizontaux PVC de diamètre 100 mm et de 8 m de longueur, inclinés de 15° par rapport à l'horizontale.

Un réseau de collecte, équipé de regards, recueille les débits captés et les évacue vers l'aval. Ce dispositif de drainage a, bien sûr, été conservé lors des travaux de mise en conformité du barrage (1996).

II - COMPORTEMENT DU BARRAGE

Les deux dossiers élaborés successivement au titre du projet de révision spéciale - par Simecsol puis par Coyne et Bellier - permettent de reconstituer un historique complet du comportement du barrage et des interventions réalisées, de l'époque de sa construction jusqu'en 1994. Sur les dix dernières années, les rapports annuels d'auscultation, régulièrement produits, apportent les éléments plus détaillés d'analyse du comportement récent de l'ouvrage.

L'événement charnière dans la vie du barrage est constitué par la réalisation, de fin 1995 à début 1997, des travaux de mise en conformité.

II.1 - Faits marquants et comportement jusqu'en 1996

II.1.1 - Chronologie des événements

dès la construction (1933-1934), apparition de tassements du remblai ayant nécessité de modifier le profil amont du barrage ;

- . 1934 : première mise en eau ;

- . 1953-1954 : installation sur le seuil de l'évacuateur de 2 vannes-toit de 33 m auto-réglables par mécanisme de flotteurs et contrepoids, en vue d'augmenter la capacité de la retenue ;
- . crue du 25 mars 1956 : 320 m³/s, la plus forte connue depuis 1907 (année de démarrage du relevé des crues du Caramy). Erosion de la berge rive droite, au débouché de l'évacuateur, conduisant à renforcer les gabions de protection et à réaliser un épi en béton ;
- . 1959 : apparition de suintements sur le parement aval, en rive droite ;
- . 1976 : réalisation de 6 sondages pour reconnaître la fondation et installation de 2x6 cellules de pression interstitielle ;
- . 1977 : reprofilage de la crête et reprise de la murette amont pour compenser le tassement cumulé du remblai depuis sa construction (soit de l'ordre de 40 cm en partie centrale) ;
- . 1985 : changement de la vanne de vidange de fond et mécanisation de son organe de manœuvre ;
- . mai 1993 : visite d'inspection des vannes-toit de l'évacuateur. Constat d'une importante corrosion des structures métalliques ;
- . 6 juillet 1993 : apparition d'une tache d'humidité sur le parement aval autour du piézomètre n°17 (vers rive gauche), sol gorgé d'eau entre les cotes 160 et 164 NGF. Traitement local immédiat (drainage) ;
- . novembre 1993 : mise en oeuvre de travaux de drainage de l'ensemble du parement aval (24 tranchées drainantes prolongées par drains subhorizontaux), afin d'y rabattre la nappe ;
- . divers travaux de reconnaissance et d'amélioration du dispositif d'auscultation, de 1993 à 1995 : 4 sondages carottés profonds équipés chacun d'une cellule de pression interstitielle, 6 piézomètres, un tassomètre et un inclinomètre ;
- . 29 septembre 1994 : inspection à sec de la galerie de vidange de fond. Constat et réparation immédiate d'un trou en radier ;
- . de juillet 1995 à octobre 1995 : travaux de renforcement définitif de la galerie de vidange de fond par construction sur quelque 90 ml d'un revêtement de protection en béton armé (en radier et sur 1 m de hauteur en bajoyers).

II.1.2 - Synthèse du comportement

a) Le premier trait de comportement que révèle cet historique est, bien sûr, celui du tassement du barrage. Celui-ci est dû à la présence d'une fondation compressible sur une épaisseur variable atteignant 30 m au dessus du substratum, vers l'axe du remblai. Le cumul du tassement observé sur la période 1934-1993 est de 60 cm au point le plus haut du barrage et se poursuit aujourd'hui à la vitesse de 3-4 mm/an (tassement restant à s'exprimer évalué à 40 cm).

Le tassomètre de forage installé en 1993 montre que certaines couches de fondation réagissent, de façon transitoire, aux variations du niveau de la retenue : celles-ci gonflent à la montée du plan d'eau et se resserrent à sa descente. Ces mouvements modulent celui dû au tassement général, qui semble de fait s'arrêter lorsque la retenue est haute.

La première conséquence dommageable du tassement général est l'affaissement de la crête (et la diminution de la revanche qui l'accompagne) : mises à part les dispositions qui ont dû être adoptées au cours du chantier de construction du barrage, des premiers travaux de remise à niveau de la

crête ont été nécessaires en 1977, d'autres devraient l'être vers 2050 (pour au minimum 30 cm d'affaissement à reprendre).

En second lieu, le tassement - et plus généralement les mouvements verticaux transitoires - sont probablement à l'origine de fissurations transversales dans le remblai sous l'effet des déformations. Ceci pourrait expliquer le deuxième principal trait de comportement du barrage de Carcès, à savoir : l'apparition inopinée au cours de sa vie de suintements ou zones humides sur le parement aval telle qu'observés en 1959, 1993 et, encore plus récemment, 1997. Ces fuites ou remontées locales de nappe pourraient faire craindre l'amorce d'une érosion interne et/ou un glissement du talus aval : d'où les travaux de drainage conduits en urgence fin 1993 et la pose d'un inclinomètre effectuée la même année. Depuis, l'inclinomètre de forage n'a détecté aucun mouvement de cisaillement mais s'est révélé soumis à un phénomène de flambement du fait du tassement de la fondation compressible qu'il traverse de part en part.

b) *Sur le plan de la piézométrie*, les cellules de pression interstitielle, sous système d'acquisition automatique, révèlent l'existence de deux aquifères dont le plus profond, contrôlé par les cellules basses, n'est pas en relation avec le niveau de la rivière à l'aval mais est très sensible aux variations du plan d'eau amont. En outre, la disparité des pressions mesurées d'une section transversale du barrage à l'autre confirme l'hétérogénéité des terrains de la fondation.

Compte tenu de l'ensemble de ces observations et dans la perspective de la réalisation des travaux de mise en conformité du barrage, le dispositif d'auscultation de l'ouvrage a été renforcé significativement à partir de 1993 dans le sens d'un meilleur suivi des tassements et de la piézométrie du remblai et de sa fondation.

II.2 - Description du confortement réalisé en 1996

Le dossier préliminaire de révision spéciale du barrage a été soumis au Comité Technique Permanent des Barrages (CTPB) en 1987. L'objectif des travaux est d'augmenter la capacité de l'évacuateur et d'améliorer la stabilité du parement aval du remblai, notamment sous sollicitation sismique. Le principe des travaux envisagés est accepté par le Comité, mais il est demandé de conduire quelques études complémentaires au titre de l'élaboration du dossier définitif : modélisation hydraulique pour le dimensionnement de l'évacuateur à modifier, caractérisation de la nature des matériaux et de la piézométrie du remblai et de sa fondation, définition du programme d'exécution des travaux ...

Il faudra attendre 1994 pour que le dossier définitif soit présenté au CTPB.

Les travaux de mise en conformité du barrage ont débuté en novembre 1995 et ont été réceptionnés en mai 1997. Ceux-ci ont consisté en :

. la modification de l'évacuateur de crues :

- installation de 3 vannes-clapet en remplacement des 2 vannes-toit ;
- élargissement du canal de fuite sur sa rive gauche rocheuse (cf photo 5) ;
- rehaussement du bajoyer rive droite (côté remblai) ;
- renforcement de la voûte de la galerie de vidange de fond vers son exutoire ainsi que de la protection de la berge rive droite, en pied aval du remblai, au droit de la fosse de dissipation.

. le confortement du parement aval du remblai par mise en œuvre de matériaux drainants :

- recharge drainante disposée sur filtre contre le talus aval jusqu'à mi-hauteur, talutée avec un fruit de 2/1 et créant une risberme supérieure calée à 165 NGF ;

- extension de la risberme aval pour constituer une large plate-forme calée à 160 NGF.

Dans le cadre de ces travaux, il a également été procédé à l'injection de 14 m³ d'un coulis de sable-ciment, sous la chaussée en crête de la digue (comblement de vides résultant des tassements).

II.3 - Faits marquants et comportement du barrage depuis 1996

II.3.1 - Evénements survenus au barrage

Sur cette période, le barrage a connu successivement deux importants événements extérieurs qui ont, bien sûr, marqué son comportement :

- la réalisation des travaux de mise en conformité, qui s'est étalée de l'automne 1995 au printemps 1997, moyennant une gestion appropriée du niveau la retenue (abaissée à la cote 164 NGF de la mi-décembre 1995 à la mi-avril 1996) ;
- la vidange décennale réglementaire dont la période d'à-sec a duré du 13 février au 2 mars 1999.

Dans le même temps, deux événements fortuits sont également à signaler :

- 17 juin 1997 : constat, à retenue pleine, d'un niveau piézométrique élevé sur un des tubes de la ligne haute du parement aval et apparition d'une tache d'humidité entre les cotes 165 (sommet de la nouvelle recharge drainante) et 166,5 NGF. Instauration immédiate d'une surveillance quotidienne des tubes piézométriques de la ligne concernée. Retour à la normale à compter du 15 juillet (autocolmatage probable). Cette fuite n'a pas été rabattue, au moins dans un premier temps, par le dispositif de drainage en place, pourtant conséquent : recharge de pied sur 5 m de hauteur, tranchées drainantes sur le rampant du talus espacées de 5 m, faisceaux de drains subhorizontaux issus de ces tranchées. Ceci confirme le caractère hétérogène des matériaux du remblai avec, à côté des conduits perméables et/ou des plans de fissuration, des zones nécessairement très étanches qui expliquent la lenteur ou l'absence de rabattement par les drains ;
- décembre 1998 : crue du Caramy évaluée à 150 m³/s qui provoque des désordres sur la protection rive droite, en aval de l'exutoire du chenal de l'évacuateur, pourtant nouvellement renforcée : glissement ou basculement des enrochements et des blocs béton de pied (cf photo 6).

II.3.2 - Impact des travaux de rechargement

Ces travaux se sont traduits par l'apport, au printemps 1996, de quelque 3 000 m³ de matériau drainant sur la partie aval du remblai (à comparer au volume initial de remblai de 44 000 m³). Les rapports d'auscultation des années suivantes notent que l'évolution des tassements n'en a pas été affectée mais qu'à contrario certaines cellules de pression "basses" - les plus sensibles, on le rappelle, aux variations altimétriques de la retenue - ont vu leurs maxima quelque peu augmentés (de l'ordre de 0,5 m pour les plus réactives).

II.3.3 - Impact de la vidange

Lors des opérations de vidange, le comportement du barrage s'est révélé conforme à ce que l'on pouvait prévoir au vu des observations faites au cours du marnage usuel du plan d'eau.

Durant les mois de janvier et février 1999 (vidange de la retenue), a été observée une nette accélération des tassements due à la consolidation des couches compressibles de fondation en relation avec la chute de la pression interstitielle en leur sein.

Depuis la mi-mars 1999 (début de remplissage), la vitesse de tassement de la digue est redevenue

comparable à celle observée avant la vidange de 1999.

Les autres paramètres d'auscultation (pression interstitielle, piézométrie, déplacements de fondation) n'ont pas subi de perturbation anormale.

II.3.4 - Vidange décennale 1999 et travaux réalisés à cette occasion

La visite décennale a eu lieu le 19 février 1999, après vidange totale de la retenue (ouverture de la vanne de vidange le 9/02/1999 et passage du culot le 13/02/1999).

Après la visite décennale proprement dite et sur la base des préconisations arrêtées ce jour-là par le service de contrôle (procès-verbal du 2 mars 1999), le maître d'ouvrage a fait procéder aux travaux suivants :

. pendant la phase d'à-sec (13 février-2 mars 1999) et en début de remplissage :

- implantation de 46 cibles de surveillance sur le masque amont (5 par plot de masque, sur 3 lignes horizontales), construction des piliers d'observation et levé de référence au 1^{er} mars 1999 ;
- relevé à la date du 15 mars 1999 d'une fissure remarquée en partie basse du masque lors de la visite décennale ;
- réalisation d'un radier en béton armé de 4,5 m de longueur pour 3,5 m de longueur contre la marche qui existait à l'entonnement de la galerie de demi-fond ;
- reprise de la protection du reniflard de la galerie de demi-fond ;
- étanchéification de la vanne de demi-fond en position fermée et reprise de quelques joints d'étanchéité de la vanne de fond ;
- levé d'ensemble du barrage, de la fosse de dissipation de l'évacuateur de crues ainsi que divers levés et plans ayant trait aux travaux effectués à l'entonnement de la galerie de l'usine ;
- le suivi du barrage sur la période de vidange a été assuré à pas de temps rapprochés. Deux levés des plots de surveillance topométrique ont été effectués : le 5/2/1999 et le 16/3/1999.

. après le remplissage :

- diagnostic complet du dispositif d'auscultation et du système d'acquisition automatique.

III. - CONCLUSIONS - RECOMMANDATIONS [1]

III.1 - Concernant la sécurité d'ensemble du barrage

La sécurité du barrage a été sérieusement remise à niveau par l'intermédiaire des travaux de révision spéciale effectués de l'automne 1995 au printemps 1997.

En particulier, suite aux travaux de recharge aval, les risques (i) de glissement d'ensemble du talus qui pourrait résulter d'une élévation générale de la ligne de saturation et (ii) de développement d'un renard, lié aux fuites erratiques sur la moitié inférieure du remblai, sont désormais écartés. Seul subsiste, donc, le risque de renard qui pourrait naître de l'évolution défavorable d'une fuite se manifestant sur les 5 mètres supérieurs du parement aval.

Vis-à-vis de ce dernier risque, le masque amont en béton est un élément sécurisant car, sous une telle charge modérée (5 mètres maximum), il opposerait - au moins pendant un temps a priori suffisant pour permettre la détection de l'anomalie et la prise des mesures d'urgence nécessaires -

un obstacle mécanique au débouché d'un renard dans la retenue.

Ceci milite pour la poursuite d'une surveillance attentive de tels phénomènes sur la base du dispositif d'auscultation complet dont est équipé le parement aval du barrage : piézométrie et dispositif de collecte des débits captés par le récent système de drainage.

III.2 - Concernant la crue de projet et l'évacuateur de crues

Les débits de crue extrême du Caramy viennent d'être réévalués à la hausse et la capacité de l'évacuateur du barrage de Carcès augmentée en conséquence, le tout après prise en compte des recommandations du CTPB. Ainsi, la capacité "vannes totalement abaissées" de l'évacuateur de surface a été portée de 420 m³/s à 820 m³/s, sous les conditions de la crue de sûreté (cote de retenue à 170 NGF - soit celle de la crête, sans tenir compte du parapet).

Après ces travaux, il est proposé de retenir les caractéristiques suivantes pour la capacité d'évacuation des crues du barrage :

- crue de projet de 780 m³/s, pour un niveau PHE de 169,35 NGF (revanche égale à 0,65 m par rapport à la base du parapet), ce qui correspond à un événement hydrologique de période de retour 1 000 ans. Sous cette cote, l'évacuateur de surface ne débite que 600 m³/s : le surcroît de capacité apportée par la vanne de fond est donc indispensable ;
- crue de sûreté [2] estimée à 1 070 m³/s, toutes vannes ouvertes (évacuateur de surface, vannes de fond et de demi-fond), ce qui correspond à un événement hydrologique de période de retour 10 000 ans.

Par ailleurs, il convient de garder à l'esprit que le dispositif d'évacuation des crues fait intervenir deux types d'organes à commande mécanique :

- la vanne de vidange de fond ;
 - les 3 clapets qui équipent le seuil de l'évacuateur à surface libre.

Intrinsèquement, ces éléments disposent des équipements de sécurité nécessaires (alimentation de secours, possibilité de manoeuvre manuelle). Cependant, leur sécurité effective dépend largement, d'une part, de leur état d'entretien et, d'autre part, de leur mode de gestion en crue (efficacité de l'alerte, clarté des consignes de manoeuvre, compétence et formation des opérateurs, etc.). Tout ceci impose donc une grande rigueur dans la manoeuvre et l'entretien réguliers des ouvrages concernés. De même, la gestion de ces organes doit être soumise à des consignes de crue pertinentes et claires, périodiquement réévaluées et testées (exercices d'alerte). Le règlement d'eau du barrage est en cours de modification pour intégrer une nouvelle consigne générale d'évacuation des crues.

Dégradation de la protection de berge rive droite au niveau de la fosse de dissipation

Ce désordre apparaît préoccupant à plusieurs titres :

- cette partie de l'évacuateur a toujours constitué un point sensible (déjà touché en particulier lors de la crue de 1956) ;
- les dégradations se sont manifestées en dépit des travaux de renforcement récents, et pour une crue somme toute " ordinaire " (150 m³/s, soit inférieure à la décennale) ;
- cette protection défend le pied du remblai du barrage, vers son extrémité rive gauche.

Il a donc été nécessaire d'approfondir le diagnostic du phénomène par une inspection subaquatique, effectuée en septembre 1999. Des travaux de renforcement ont alors été préconisés et sont, aujourd'hui, en cours de dévolution.

III.3 - Concernant le dispositif de surveillance et d'auscultation

Le barrage de Carcès possède un dispositif d'auscultation complet, bien suivi et régulièrement analysé. Il est à souligner l'excellente coordination entre l'exploitant, chargé de faire les mesures, et le bureau d'études spécialisé qui a pour mission de les interpréter et d'assister le maître d'ouvrage dans les décisions techniques. Une telle coordination permet de réagir vite, et de façon pertinente, aux anomalies de comportement du barrage. Ceci fut, en particulier, le cas lors des épisodes d'apparition de zones humides sur le parement aval, en 1993 puis en 1997.

La période, somme toute agitée, que vient de connaître le barrage a permis, par l'intermédiaire d'un dispositif amélioré, d'engranger de précieuses informations de corrélation entre les principales mesures d'auscultation. La compréhension du comportement du barrage en a grandement progressé.

Quelques recommandations et suggestions ont, cependant, été formulées dans le rapport d'expertise décennale dont les principales se récapitulent comme suit :

. Il convient d'améliorer le système de contrôle des débits de fuite du remblai et de sa recharge aval, de façon, notamment, à permettre des mesures de jaugeage hebdomadaires dans les deux regards aval, ainsi qu'à l'exutoire du réseau de collecte.

. Les mesures acquises automatiquement – cellules de pression, tassomètres, cote de la retenue - doivent (pouvoir) être effectuées manuellement en cas de panne du système d'acquisition, avec au minimum un relevé bi-mensuel. Le passage en saisie manuelle a d'ailleurs été appliqué lors de la vidange de 1999 compte tenu des défaillances fortuites subies par le système d'acquisition automatique durant cette période.

. Du fait de l'automatisation de l'acquisition des mesures émanant du tassomètre situé vers l'axe du barrage et qui permet une surveillance « temps réel » du tassement du remblai, il semble envisageable à terme de réduire de moitié la fréquence des levés topométriques : soit une campagne retenue pleine et une retenue basse, une année sur deux (celle de la production du rapport complet d'auscultation). Ceci ne devrait pas entraîner de perte significative d'informations sur le comportement du barrage.

ANNEXE 1 : PHOTOGRAPHIES



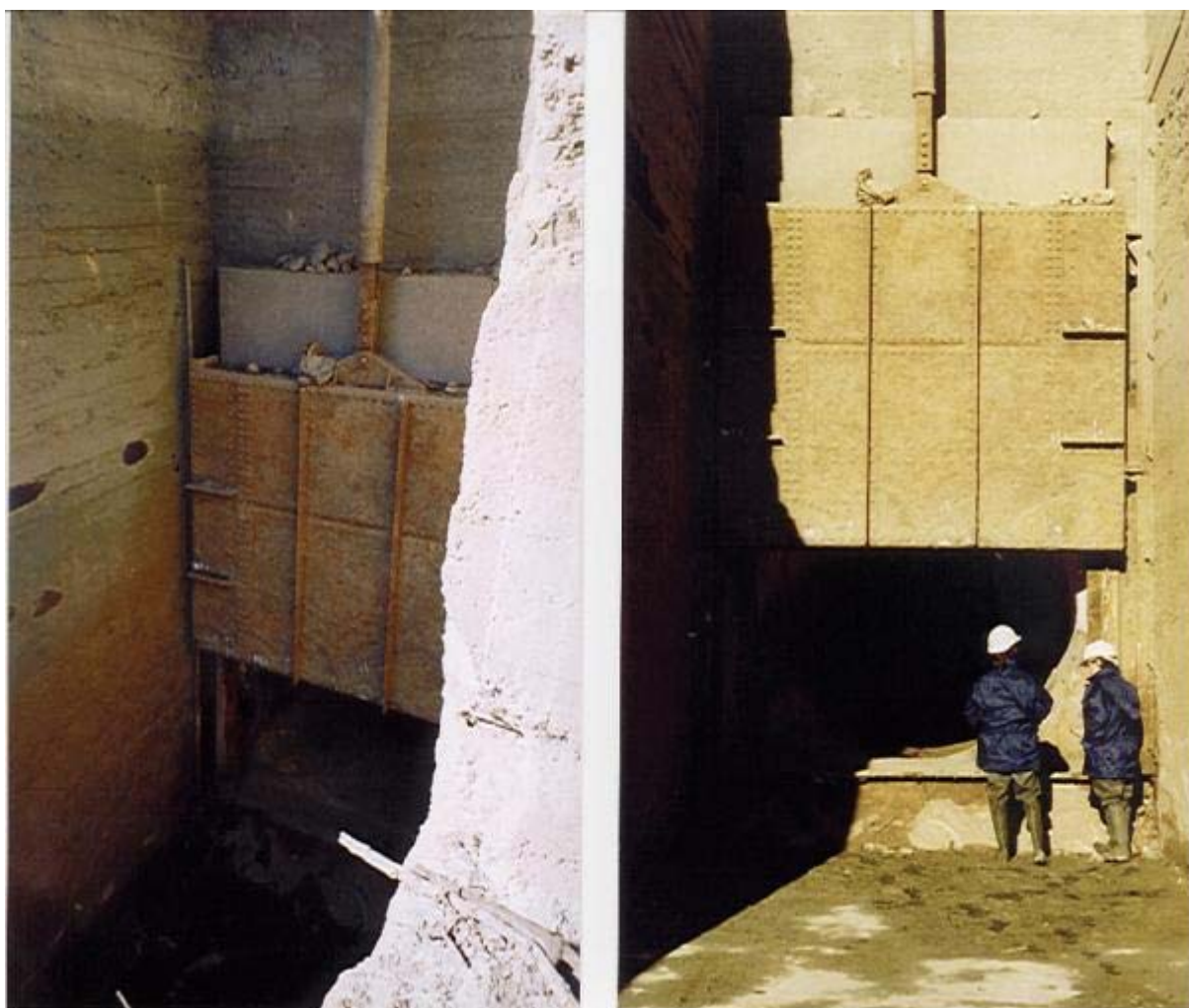
Photo n°1 : Vue générale rive gauche lors de la vidange décennale de 1999



Photo n°2 : Vue amont rive droite lors de la vidange décennale de 1999



Photo n°3 : Plate-forme de manœuvre de la vanne de demi-fond et lac de Carcès



Photos n°4 : Vues de la vanne de garde de la galerie de demi-fond



Photo n°5 : Vannes-clapets et coursier de l'évacuateur élargi côté rive gauche lors des travaux de mise en conformité

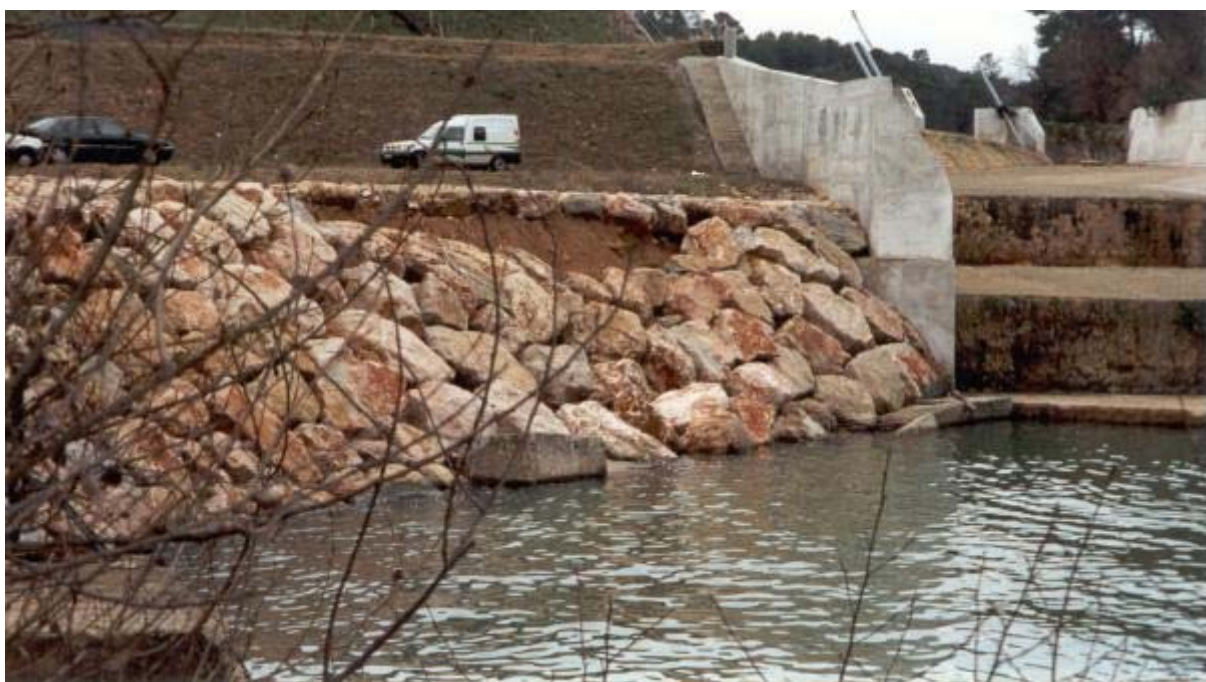
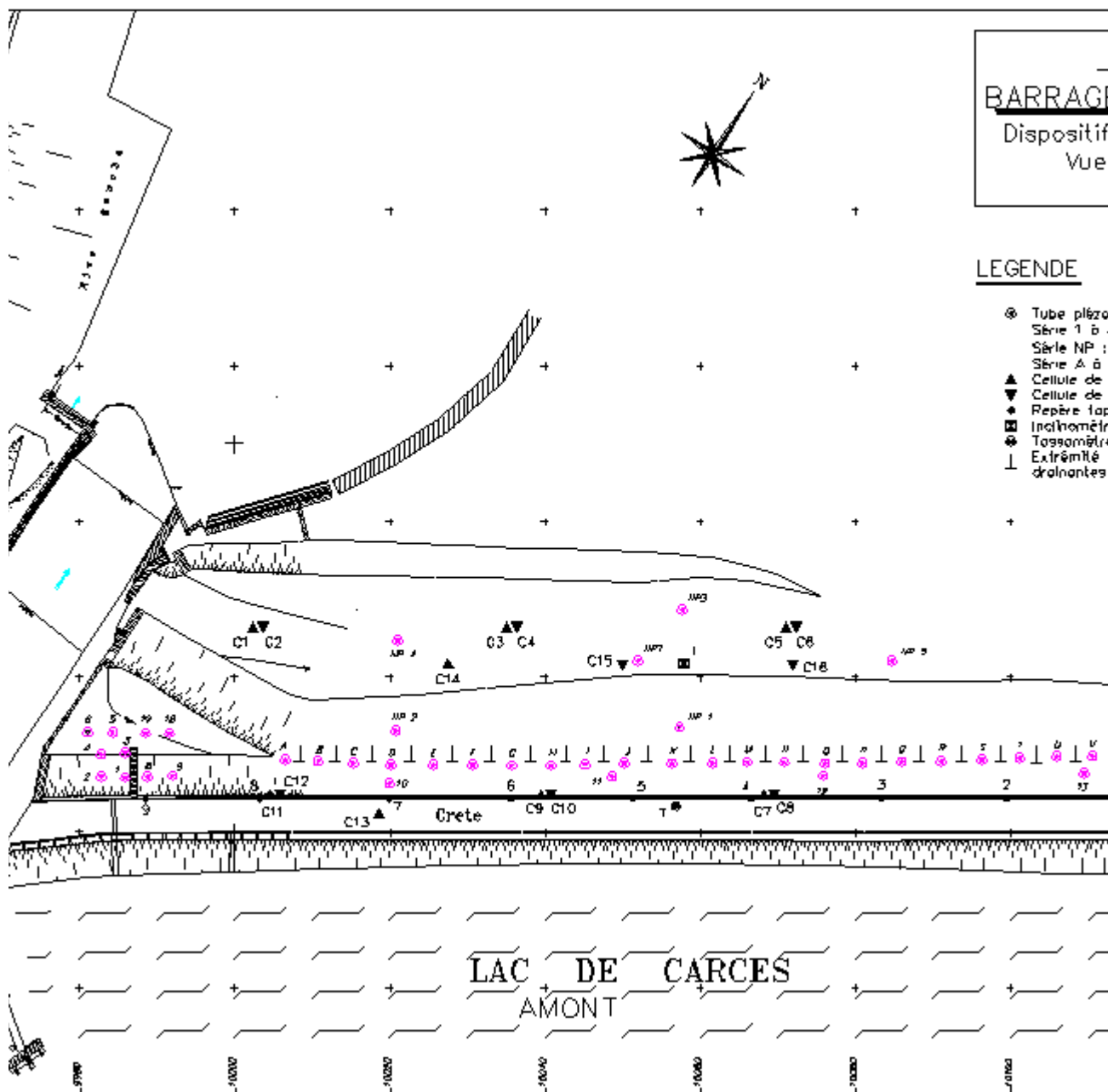


Photo n°6 : Bassin de dissipation à l'aval du barrage et protections désorganisées en rive droite

ANNEXE 2 : DISPOSITIF D'AUSCULTATION VUE EN PLAN



[1] Ce paragraphe s'inspire des recommandations qui ont été formulées dans le rapport d'expertise décennale de juin 2000, élaboré par le Cemagref, en application de la lettre-circulaire du 4/10/1999 du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement – Direction de l'Eau.

[2] Débit de sûreté : débit maximal au-delà duquel la sécurité du barrage est mise en jeu. Ici, pour le cas d'un barrage en remblai, cote du plan d'eau égale à celle de la crête (170 NGF), la revanche étant assurée par le parapet en béton.