

ADAPTATION CONTINUE DU DISPOSITIF D'AUSCULTATION D'UN BARRAGE REGULIEREMENT SUIVI

Adapting monitoring device for a monitored dam

Daniel BOUBEE, Pierre WEISS
CACG, BP449 65004 TARBES
d.boubee@cacg.fr p.weiss@cacg.fr

Jérôme SAUSSE
EDF DTG, 21 avenue de l'Europe 38040 GRENOBLE
jerome.sausse@edf.fr

MOTS CLÉS

Auscultation, examen visuel, surveillance, vieillissement.

RÉSUMÉ

L'opportunité de la réhabilitation, voire du renforcement, des dispositifs d'auscultation de barrages parfois vieillissants (réseau piézométrique, exutoires des systèmes de drainage, chaînes de mesures des indicateurs physiques tels les cellules de pression,...) est une préoccupation permanente des exploitants. S'agissant de barrages régulièrement suivis depuis leur mise en service, la justification du dispositif de surveillance est à évaluer au regard des risques intrinsèques de l'ouvrage, en gardant à l'esprit un ratio coût/bénéfice admissible. Cette justification n'est pas pour autant une démarche aisée ; elle est néanmoins explicitement demandée sur les barrages de classe A, dans le cadre des Revues de Sûreté et concernant les barrages de classes B&C qui ne seraient pas dotés à ce jour de dispositifs d'auscultation. De plus en plus confrontés à ces questions d'optimisation du dispositif de surveillance, les deux Maîtres d'Ouvrage (et exploitants) CACG (Compagnie d'Aménagement des Coteaux de Gascogne) et EDF (Electricité de France) ont respectivement adopté des principes différenciés permettant de se positionner de manière la plus adéquate possible sur la pertinence des réseaux d'instrumentation et ainsi répondre à une même finalité : garantir la sûreté des ouvrages. Les approches menées par les deux sociétés sont exposées dans cet article afin de donner un éclairage le plus complet sur les critères pouvant être pris en compte pour justifier de la pertinence des dispositifs d'auscultation.

ABSTRACT

The opportunity for rehabilitation monitoring devices of ageing dams is a present issue for dam's owners. This paper explains how EDF and CACG have adopted principles to justify dams monitoring. The approaches taken by the two companies are set out in this article to shed light on the most comprehensive criteria that could be considered.

1. CONTEXTE

La surveillance des barrages est un domaine à très forts enjeux qui s'inscrit de ce fait dans un contexte très réglementé. Dans le domaine du génie-civil, la surveillance repose essentiellement sur

les examens visuels réguliers de l'exploitant, complétés par les résultats réguliers de l'auscultation et plus ou moins ponctuellement par les visites techniques approfondies (VTA) L'auscultation constitue la partie quantifiée de la surveillance puisqu'elle s'appuie sur des mesures : elle est de ce fait une activité de spécialiste nécessitant également une bonne maîtrise de la chaîne de mesure du dispositif d'auscultation. Ce dispositif est amené à évoluer pendant la durée de vie du barrage car il apporte des informations sur le comportement de l'ouvrage qui ne revêtent pas la même importance, d'abord lors de la construction et de la mise en eau puis au fil du temps, le cas échéant en fonction du comportement observé. Ces évolutions prennent donc en compte le vieillissement des ouvrages mais aussi celui du dispositif d'auscultation lui-même qui peut se dégrader dans le temps. Compte tenu de cette réalité technique, mais aussi pour répondre aux dernières exigences réglementaires en matière de sécurité des barrages, les Maîtres d'Ouvrage sont de plus en plus confrontés à la justification de la pertinence des dispositifs opérationnels de surveillance de leurs barrages.

2. LA SURVEILLANCE DES PARCS RESPECTIFS CACG ET EDF

2.1 Particularités de l'auscultation du parc de barrages CACG

2.1.1 La CACG gestionnaire d'un parc

Depuis 1960, la CACG société d'aménagement régional en Midi-Pyrénées (et en Aquitaine depuis 2001) conçoit, réalise et exploite des réservoirs à usages multiples : à ce dernier titre la CACG gère près de 80 barrages réservoirs dans le cadre de sa concession d'Etat, ou pour le compte d'autres Collectivités (Conseils Généraux, EPTB, Syndicats intercommunaux ou mixtes, ASA...);

2.1.2 Le parc des ouvrages gérés

Le parc suivi sur l'ensemble des départements des régions Midi-Pyrénées et Aquitaine (aussi plus anecdotiquement, une dizaine pour 3hm³ en en Vendée, Région Pays de Loire) sont classés au titre de la sécurité des ouvrages selon la répartition ci-contre.



Figure 1 : répartition du parc CACG des ouvrages gérés par classes de dimensionnement

Compte tenu des caractéristiques géologiques globalement constantes de leurs cuvettes, tous les ouvrages du Sud-Ouest sont construits sur le principe d'une digue (le plus souvent « pseudo homogène ») en remblai compacté (terre ou enrochements). Nous attacherons, dans le cadre de la présente communication, une attention particulière à l'âge de ces constructions, en se limitant ici au parc des quelques 70 ouvrages situés dans le Sud-Ouest.

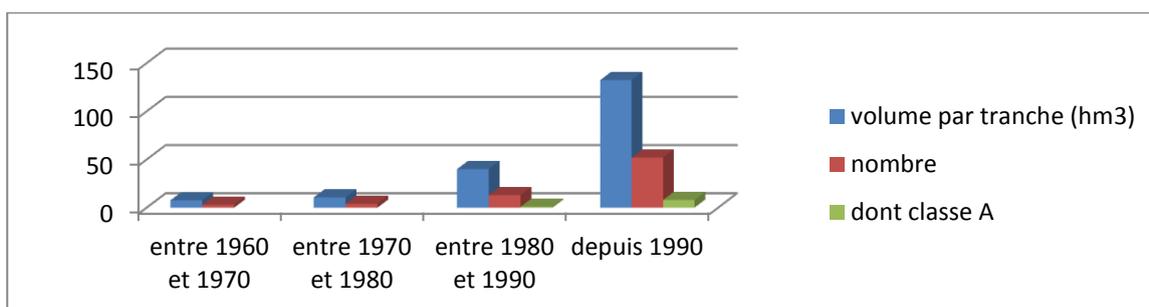


Figure 2 : répartition du nombre d'ouvrages CACG et des volumes stockés (hm³) par tranches d'âge

En termes de vocation, ce parc en gestion CACG se décompose en deux catégories :

- les ressources à usages locaux, où les utilisateurs (le plus souvent des irrigants mais aussi des réseaux AEP) sont en prise directe sous le barrage et où le volume utilisé est consommé sur un axe hydraulique très court : une douzaine de réservoirs représentant 6% des volumes stockés,
- les réservoirs à vocation de réalimentation sur l'axe hydraulique dominé sur un bassin, capables de fournir la ressource nécessaire à l'ensemble des usages (industriel, AEP, agricole et surtout – en termes de % d'utilisation - environnemental au titre du soutien du débit d'étiage) qui représentent l'essentiel des aménagements gérés.

2.1.3 Les modalités de suivi et les dispositifs d'auscultation

Tant l'homogénéité technique de l'ensemble de ces ouvrages exploités que la continuité du service (la CACG suit la plupart de ces ouvrages depuis leur mise en eau soit en ingénierie d'auscultation seule, soit en exploitation totale) permettent d'avoir un retour d'expérience important et ainsi une connaissance du comportement physique des ouvrages et de leur réaction aux sollicitations extérieures.

Parmi les quelques 70 ouvrages suivis en gestion par la CACG, 55 bénéficient d'un dispositif d'auscultation régulièrement exploité, soit la totalité de ceux de classes A et B ainsi qu'une douzaine de classe C : il s'agit dans cette dernière classe des plus importants ($H^2V^{0,5} > 150$)... ou des plus récents.

Parmi ces ouvrages, deux font également l'objet d'un Plan de Prévention et d'Intervention et un autre d'un système d'alerte spécifique ; ces trois ouvrages ont donc un système de surveillance particulièrement précis.

Il convient de noter que, dans le cadre de l'organisation des activités, le contrôle visuel et les mesures d'auscultation, ne sont pas attribués aux personnels exploitants mais à ceux de la Direction de l'ingénierie (interne CACG) et plus particulièrement à une cellule dédiée de contrôle des ouvrages hydrauliques. Nous avons précédemment [1] indiqué comment s'organisait ce contrôle interne, en « indépendance fonctionnelle » et selon des modalités jusqu'alors plus sévères que celles résultant des récents arrêtés d'application.

2.1.4 Les enseignements des moyens et résultats d'auscultation

Nous avons ici retenu d'illustrer notre propos par un panel d'ouvrages dont nous assurons la gestion et l'auscultation construit en y intégrant nos trois plus anciens (de la décennie 60), nos deux plus récents (mis en service il y a 5 ans) et une demi-douzaine représentatifs de la tranche intermédiaire (de différentes classes et de la génération 1980-90).

Colloque CFBR : « Auscultation des barrages et des digues - Pratiques et perspectives », 27-28 Novembre 2012, Chambéry

classe	mise en service	initiaux				conservés					
		topométrie	hydrométrie			topométrie	hydrométrie				
			cellules	mesure des drains	piézos		cellules	mesure des drains	piézos		
barrages anciens											
Lavit	C	1961	5 repères sur remblai 3 spits particuliers sur ouvrages	6	0	2	7	0	so	0	
St-Cricq	B	1968	7 repères en crête 3 en fondation		néant : tapis horizontal	2 dans le massif en aval	5	7	2	idem	3
Miélan	B	1968	22 repères	0	néant : tapis horizontal	5 en massif 3 en fondation aval 3 puits		idem	0	momentanément perdue	4 puits momentnément perdus
barrages intermédiaires											
Astarac	B	1976	11 / génératrice sup. galerie 6 profils x 3 sur crête et remblai 8 spits particuliers	0	7 collecteurs 1 puits de mesure	8 dans le massif 20 en aval		idem	0	idem	5
Lourden	A	1985	30 sur génératrice sup. galerie 23 plots sur remblai 11 spits particuliers	39 dont 15 en fondation	confusion avec la fondation perméable	7 en fondation aval		idem	27	sur piézomètres aval	4
Bure	B	1985	18 repères sur remblai, 6 spits particuliers sur ouvrages	16 dont 11 en fondation ou contact	7 collecteurs mesurés	1 en aval		idem	idem	idem	idem
Puydarieux	A	1987	20 en fondation sur radier de galerie 29 spots sur remblai 1 pendule sur tour 7 spits particuliers sur passerrelle	42	1 collecteur par rive	7 en fondation aval		2 particuliers victimes de vandalisme	31 5 HS dès mise en service 6 HS récemment	idem	3
Gimone	A	1991	4 tassomètres-inclinomètres, 21 repères sur remblai, 29 spits particuliers sur ouvrages	73	2 puisards aval	10 en fondation aval, 15 puits de décompression 4 forages inclinés tous équipés		idem	idem	idem	idem
Filleit	A	1996	29 en fondation sur génératrice de galerie, 15 poutres ancrées en remblai enrochement	35 dont 21 en fondations 12 en noyau, 2 en tapis drainant	2 puisards équipés en fond et 2 en versants	10 en aval		idem	idem	idem	idem
Antin	C	1996	8 plots sur rembai 10 repères spécifiques	0	sorties de drains	0		idem	idem	idem	idem
barrages récents											
Gabas	A	2005	30 repères sur remblai, 33 spits particuliers sur ouvrages 79 spits en galerie 9 tassomètres 9 inclinomètres	80 dont 35 en fondation et contact	4 puisards collectifs équipés	14 dans massif aval, 14 dans fondation aval		idem	idem	idem	idem
Magnoac	B	2007	30 repères sur remblai, 20 spits particuliers sur ouvrages	8	21 collecteurs	13		idem	idem	idem	idem

Tableau 1 : illustration de l'évolution des dispositifs d'auscultation sur un panel d'ouvrages CACG

Il est possible de constater l'évolution (évolution à la baisse du nombre de fonctionnels ou possibles dérives) des équipements au fil du temps... Certains de ces équipements ont été remplacés ou complétés.

Le bilan ci-après fait apparaître le peu de modifications ou remplacement/renforcements au fil du temps hormis quelques récupérations « faciles » de matériels momentanément HS : nous invitons pour cela le lecteur à se reporter au REX (retour d'expérience) développé plus avant.

	classe	mise en service	équipements remplacés ou complétés			
			topométrie	hydrométrie		
				cellules	mesure des drains	piézozs
barrages anciens						
Lavit	C	1961	0	0	récupération des écoulements en cavalier de pied	0
St-Cricq	B	1968	3 sur seuil	+1 et modification du système	dégagement du fossé collecteur	1
Miélan	B	1968	3 sur nouveau seuil	0	réhabilitation de la collecte	4 et récupérations des 3 puits et de leur collecteur
barrages intermédiaires						
Astarac	B	1976	0	restauration en 2001	0	1
Lourden	A	1985	0	0	5 récupérations de sorties de drains	3
Puydarieux	A	1987	non recalables	réétalonnage en 2008 pour correction de dérive		23 puits et 4 forages drainants 0 inclinés sous fondation dès année 2
Antin	C	1996	2	0	0	0
barrages récents						
Gabas	A	2005	9 inclinomètres (remplacement) en fin de remblai dont 1 HS depuis 3 ans	0	mesure en continu en instance	0

Tableau 2 : bilan des renforcements de dispositifs d’auscultation sur le présent panel d’ouvrages CACG

Ceci peut s’expliquer par les résultats de suivi comportemental des ouvrages, illustré ici à titre indicatif...

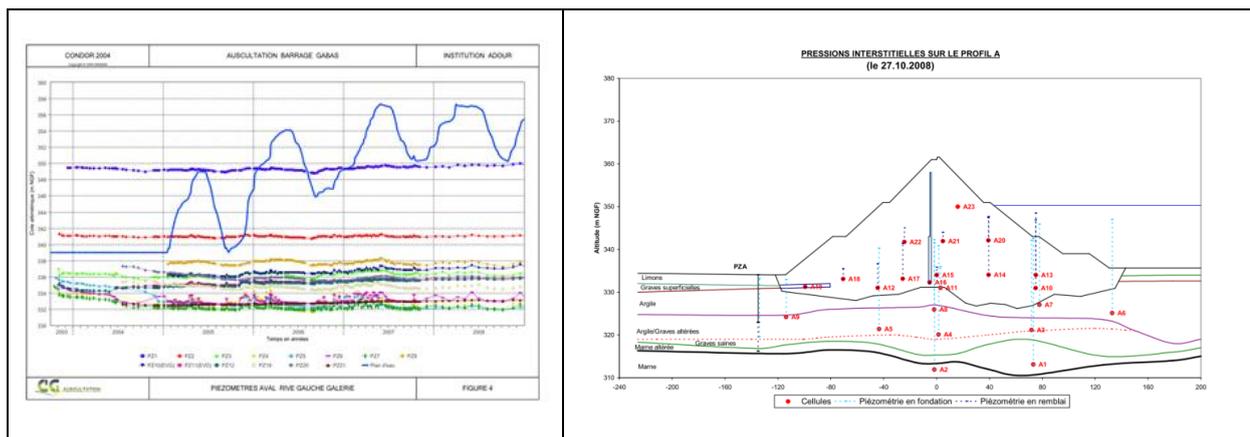


Figure 3 : illustration de repérage et de rendu des dispositifs d’auscultation sur ouvrages CACG

Colloque CFBR : « Auscultation des barrages et des digues - Pratiques et perspectives », 27-28 Novembre 2012, Chambéry

... et sommairement synthétisé pour le même panel dans un tableau suivant.

Nom	classe	année de mise en service	indicateurs de comportement				
			topométrie		hydrométrie		
			tassements	déplacements	pression interstitielle	drainage interne	piézométrie
barrages anciens							
Lavit	C	1961					
St-Cricq	B	1968	très atténués depuis 20 ans	quelques mouvements erratiques réversibles	conservation des pertes de charge incertitude liée au changement d'appareillage (acoustique / fréquence)	RAS	pas de variation significative légère influence de la charge amont
Miélan	B	1968	très faibles persistants mais encore inférieurs au nominal	faibles vers l'aval et stabilisés depuis 35 ans	influence de la charge amont et localement des fortes pluies	régime permanent stable de la saturation	stable des différences selon situations
barrages intermédiaires							
Astarac	B	1976	fort tassement nominal de la fondation stabilisé, insignifiant du corps de remblai	tassement aval faible conservé	lecture perturbée par influence des pluies en surface, RAS en interne sinon une légère remontée sur 1	drainage interne insignifiant et indépendant de la charge amont, influence épisodique des fortes pluies	pas de variation significative légère influence de la charge amont décroissante
Lourden	A	1985	stabilisés	très faibles en fondation vers amont et aval stabilisés depuis 20 ans faibles mouvements erratiques réversibles en crête	mesures momentanément erratiques après période d'interruption des mesures dérivés corrigés et évolution normale	stabilité à charge amont constante régime de saturation encore non homogène	stabilité depuis la mise en service et très faible influence de la charge amont
Bure	B	1985	faibles stabilisés depuis plus de 5 ans	quelques fluctuations annuelles faibles et réversibles	stabilité dans le temps et absence d'influence de la charge sur nappes aval	nominal et peu influencé sauf 1 par pluviométrie	RAS
Puydarieux	A	1987	tassements nominaux en crête et en stabilisation depuis 10 ans stabilisation récente de l'ensemble tour - passerelle	inclinaison de la tour vers l'aval minime et stabilisé depuis 10 ans quelques déplacements erratiques réversibles léger étirement de la crête vers l'aval stabilisé depuis 5 ans	faible augmentation homogène actuelle non explicable par autres paramètres (dérive?)	stable depuis l'origine, quelques influences épisodiques en forte pluies	stable dans le remblai depuis l'origine à charge constante une mouillère aval stable et peu influencée par la charge faible influence en fondation
Gimone	A	1991	très faibles nominaux mais non encore amortis dans le remblai, légers différentiels latéraux sur maçonneries stabilisés	quelques faibles mouvements erratiques réversibles fonction de la charge	toutes évolutions normales, stabilisées en fondation et constante, faible sensibilité rémanente à la charge amont en remblai	faible depuis l'origine et stable, légère influence des fortes pluies et de la charge amont	RAS
Filleit	A	1996	modestes en fondation mais rapides en fin de construction, stabilisés depuis 13 ans, très faibles mais encore évolutifs en remblai	RAS	établissement du régime se poursuit sur certaines cellules	fortement influencé par la pluviométrie sinon stable,	RAS
Antin	C	1996	nominaux et en voie de stabilisation	insignifiants et réversibles sur remblai stabilisés sur maçonneries	RAS	RAS	RAS
barrages récents							
Gabas	A	2005	poursuite de faibles tassements en dessous des valeurs calculées et atténuation en fondation	faibles déplacements en crête vers l'amont en phase de vidange, légers écartements des joints de maçonnerie	poursuite de la dissipation des pressions de construction, pas encore de stabilisation de l'évolution des pressions hétérogènes, mais avec des coeff. r_u toujours bons	le plus souvent faibles et constants, une situation de drainage de nappe de versant sensible à la charge amont et à la pluviométrie	baisse progressive des pressions aval, non influencées par la charge amont, stabilisation des piézométries
Magnoac	B	2007	tassements faibles et en voie de stabilisation, un peu plus marqués sous le seuil	RAS	établissement progressif du régime permanent, dissipation des pressions en remblai,	encore hétérogène : partie permanente avant 1er remplissage, partie sèche en permanence	stabilité, voire baisse de la piézo en fondation aval

Tableau 3 : synthèse sommaire des résultats d'auscultation sur le même panel d'ouvrages CACG

On constate que sur une série d'ouvrages obéissant à des dispositions constructives similaires dans un contexte géographique et géotechnique homogène, les comportements des barrages suivent une évolution parallèle quelle que soit leur classe (leur dimension). Après l'évolution prévue des tassements et de la piézométrie, une stabilisation de ces phénomènes intervient le plus souvent au terme d'une dizaine d'années suivies d'une phase de consolidation lente asymptotique restant en dedans des calculs initiaux.

Ceci est notamment vérifié sur les ouvrages où l'ensemble des équipements d'auscultation sont restés opérationnels ou substitués en continuité.

Colloque CFBR : « Auscultation des barrages et des diges - Pratiques et perspectives », 27-28 Novembre 2012, Chambéry

Là où des équipements ont été perdus et non remplacés, les indications qu'il reste possible de mesurer demeurent homogènes et cohérentes. Tous ces résultats montrent une évolution « nominale » des ouvrages notamment en termes de contrôle des tassements et déplacements, de stabilité et de maîtrise des percolations.

Il apparaît toutefois nécessaire de s'interroger sur la durabilité de ce comportement au fil du vieillissement des ouvrages, en supposant que ce vieillissement ne soit plus celui d'une maturation et d'une consolidation « dans la force de l'âge » mais commence peut-être à se traduire par des signes de dégénérescence ? La réponse apportée à cette question, dans la limite de notre REX, peut venir du suivi de l'évolution des plus vieux des ouvrages que nous gérons.

2.1.5 Une préoccupation d'actualité : celle de Lavit, plus vieille retenue collinaire de France

Le réservoir de LAVIT situé en Tarn-et-Garonne (achevé fin 1961) a été mis en eau en 1962. Cet ouvrage, de classe C, répond aux caractéristiques suivantes :

- volume du remblai mis en œuvre de l'ordre de 70 000 m³,
- hauteur maximale du remblai de 14 m,
- volume d'eau stocké initialement de 428 500 m³ (une rehausse a été réalisé en 1997 portant la contenance à 480 000 m³).
- bassin versant de 2,12 km² : le déversoir a été redimensionné pour une crue millénale recalculée à 9.4 m³/s.



A l'époque de sa construction, la conception (transposée des retours d'expérience alors seulement connus en Italie) avait été jugée sécuritaire et largement dimensionnée.

Figure 4 : amont de la digue de Lavit

Le dispositif d'auscultation initial a évolué dans le temps :

- 5 repères topométriques de crête (1 disparu depuis lors) et 3 sur le seuil du déversoir,
- 2 piézomètres ont été suivis pendant la phase de construction et abandonnés ensuite,
- 6 cellules de pressions interstitielles ont été suivies pendant la phase de construction et abandonnées depuis,
- pas de système de mesure de débit du tapis drainant aval.

Autant dire que ce vieil ouvrage ne bénéficie plus que d'une inspection visuelle et de contrôles topographiques. Il n'a toutefois donné jusqu'alors aucune inquiétude en termes comportementaux : l'absence de « thermomètre » ne masque visiblement pas, ici, une éventuelle « fièvre maligne » du sujet.

2.1.5.1 Mise en cause de ses performances sécuritaires en regard des normes actuelles

Les dispositions constructives de cet ouvrage ne sont plus conformes aux recommandations actuelles (CEMAGREF 2002). Cet état de fait a notamment conduit la DREAL à préconiser à l'issue de la dernière inspection commune en fin d'année 2011 une série de « mises à niveau » nécessitant des investissements lourds de confortement ou reprises de parties d'ouvrages

Colloque CFBR : « Auscultation des barrages et des diges - Pratiques et perspectives », 27-28 Novembre 2012, Chambéry

(évacuateur, protection antibatillage, drainage, dispositif d'auscultation,...), au-delà d'interventions normales d'entretien et maintenance programmées par l'exploitant.

2.1.5.2 Adaptation des préconisations administratives aux potentialités de l'ouvrage

Les usages prévus initialement sur cet ouvrage étaient essentiellement agricoles : ressource pour un réseau de distribution d'eau à 230 hectares irrigués avec un quota de 1800 m³/ha ; le souci de conforter un culot piscicole et l'augmentation de valeur de débit réservé ont poussé à la réalisation d'une rehausse à la fin des années 90 de 60 cm permettant un gain de 50 000 m³.

Pour diverses raisons ce secteur connaît une forte érosion de la demande en eau depuis 5 ans.

Depuis la nouvelle réglementation relative à la sécurité des ouvrages hydrauliques, des allègements ont pu être possibles (en effet les consignes appliquées jusqu'alors par la CACG sur des ouvrages de ce type étaient plus contraignantes et proche de celle demandées aujourd'hui pour les ouvrages de classe B).

Dans le prolongement des analyses réalisées lorsque la valorisation de celui-ci était optimum, la CACG peut aujourd'hui continuer de l'exploiter en confiance malgré l'altération des moyens de contrôle dont il n'est pas possible d'envisager le renouvellement « économiquement ».

A l'issue d'échanges intervenus en ce début d'année, la CACG et la DREAL sont convenues d'alléger les préconisations initiales pour tenir compte de l'historique et du comportement en toute apparence satisfaisant de l'ouvrage ainsi que de modalités de suivi agréées, garantes d'une capacité réactive en cas de nécessité.

Il est ainsi retenu, en regard du ratio enjeux :coûts, de ne pas rechercher un confortement jugé non indispensable du dispositif d'auscultation en requérant en compensation une vigilance accrue sur les inspections visuelles et modalités de prévention. Un réinvestissement sur l'évacuateur de crues en fonction des plus récentes recommandations issues du « groupe de travail » ad'hoc constitué par le CFBR, reste toutefois du domaine du probable.

2.1.6 Des préoccupations similaires sur d'autres situations plus contrastées

Les mêmes préoccupations visent (ou ont concerné) nos trois plus anciens ouvrages. Leur comportement en termes de stabilité et de vieillissement y apparaît satisfaisant ; en regard de la question précédemment posée de leur possible sénescence, leur fiabilité sécuritaire est (a été) remise en cause sur un autre paramètre : celui du dimensionnement des ouvrages d'évacuation des crues. Cette remise en cause émane, non du vieillissement des équipements d'origine, mais de leur obsolescence en regard de l'amélioration des chroniques hydrologiques d'une part et de l'évolution des dispositions réglementaires, sinon des recommandations, en matière de fréquences de crue à prendre en compte comme déterminant de la crue de projet, voire de la crue de danger.

Cette remise en cause, datant de 1999, nous a déjà conduits à modifier profondément le dispositif d'évacuation de la retenue de Miélan en construisant un nouvel ouvrage hydrauliquement plus fonctionnel et largement dimensionné, en parallèle du vieil ouvrage conservé, conforme aux standards constructifs de l'époque et qui avait jusqu'alors donné satisfaction (y compris lors de l'épisode de crue généralisée de Gascogne de juillet 1977 avec un temps de retour estimé plusieurs fois centennal).



Figure 5 : vue sur le double dispositif actuel de Miélan

Cet ouvrage est primordial pour conserver la garantie de réalimentation en tête d'une rivière d'une centaine de kilomètres. Ces interventions ont également permis de restaurer une partie des dispositifs d'auscultation perdus.

Cette remise en cause a encore été formalisée plus récemment, dans un contexte différent, à l'occasion de l'EDD conduite en 2011, sur une autre retenue, à Saint-Cricq.



Celle-ci est d'intérêt local comme Lavit (irrigation et plan d'eau touristique).

Les indications précisées dans le panel attestent de la bonne conservation de l'état de l'ouvrage et des dispositifs de suivi. Le redimensionnement de l'évacuateur, aujourd'hui souhaité, nous conduirait à des investissements neufs sans contrepartie économique suffisante.

Figure 6: illustration d'un ouvrage à vocations diversifiées

La CACG prend ici le parti de proposer à l'Etat, son concédant, de ne pas réaliser ces reprises d'investissement et de gérer la retenue à une cote d'exploitation abaissée rendant compatibles les volumes nécessaires aux stricts usages conventionnés ménageant la capacité de stockage de la totalité de la crue de projet avant déversement éventuel sur les ouvrages actuels conservés en l'état. Là aussi un suivi du comportement de l'ouvrage sera renforcé.

Nous voyons là encore apparaître une perspective de désaffectation, au moins partielle, résultant non pas d'une mauvaise évolution de l'ouvrage, mais d'une difficulté de rester « aux normes » sans investissements disproportionnés aux résultats d'exploitation.

Dans ces trois cas, concernant les plus anciens de nos ouvrages, il peut être retenu que :

- leur remise en cause n'est pas en rapport avec des résultats de suivis d'auscultations critiques,
- la réponse apportée par le tandem Maître d'ouvrage-exploitant, est davantage guidée par des critères d'opportunité, notamment fonctionnelle et économique, que d'application univoque de dispositions sécuritaires améliorées passant par la conservation des équipements ou de leur mode de gestion.

En l'état, l'amélioration de leur « qualification sécuritaire » est indépendante du dispositif d'auscultation opérationnel, mais davantage des modalités d'exploitation conservées ou adaptées. Ce cas de figure n'est pas obligatoirement transposable à d'autres situations.

Colloque CFBR : « Auscultation des barrages et des diges - Pratiques et perspectives », 27-28 Novembre 2012, Chambéry

2.1.7 Un retour d'expérience particulier posant la question de l'opportunité du renforcement des dispositifs ?

Dans le cadre de l'application des nouveaux textes, nous avons souhaité avec une Collectivité concédante (Institution Adour) que l'EDD (étude de danger) d'un des barrages-réservoirs dit du Lourden, que nous gérons pour son compte soit réalisée par un tiers. Il était en effet intéressant d'avoir un regard extérieur d'un autre organisme agréé, sur un ouvrage que nous avons conçu et réalisé, et dont nous assurons la gestion depuis 2001 (gestion assurée entre-temps par la CARA depuis sa mise en service en 1985). Les conclusions synthétiques de l'EDD confortent nos propres avis établis depuis une première visite approfondie en 2003 : l'ouvrage apparaît sain et de comportement nominal, aux quelques signes de vieillissement classiques des maçonneries qui font l'objet de reprises adaptées au fil du temps. Les tassements et déplacements sont normaux, faibles et stabilisés. Les débits de drainage limités et davantage influencés par les pluies que par le niveau de la retenue.

Au-delà des inspections visuelles, le dispositif d'auscultation originel a été décrit dans le tableau 1. Retenons notamment qu'actuellement (tableau 2) 12 des cellules de pression (soit 30%) ne sont plus fonctionnelles (essentiellement en fondation). La question peut donc se poser dans une telle situation, de l'opportunité du remplacement tout ou partie des cellules et/ou du confortement du suivi de l'évolution de la piézométrie en fondation par un renforcement des piézomètres. Si le maître d'ouvrage et son délégataire n'en voient pas aujourd'hui la nécessité au vu du comportement satisfaisant attesté de l'ensemble de l'ouvrage, il conviendra dans le futur de se reposer la même interrogation.

2.1.8 Le bilan de ce premier retour d'expérience particulier pose la question de la maintenance des systèmes

Paradoxalement, la pérennité de certains des plus anciens ouvrages construits selon des normes dimensionnelles aujourd'hui dépassées, est remise en cause pour un risque évaluable (le risque de faible surverse), très peu probable (10^{-4} voire 10^{-5}) même en regard de la durée de vie escomptée des ouvrages (10^2) et, au retour de quelques expériences, peu dommageable (même si on connaît par ailleurs des REX de rupture sur déversement). A contrario les EDD actuellement abouties pour le parc des ouvrages (tout au moins ceux en remblais) confirment que le risque le plus sérieux, et le plus probable (retour empirique sur quelques autres cas d'ouvrages historiques, certes sans doute moins bien construits) est celui de l'érosion interne. De ce fait la surveillance directe et l'auscultation sur quelques indicateurs (piézométrie, variations et charge des débits de drainage) requièrent toute la vigilance des exploitants et justifient peut-être (sans doute) des renforcements et/ou modernisations des capteurs au fur et à mesure du vieillissement, si avéré, des ouvrages.

Cette réflexion rejoint celle précédemment exposée en fin de 2.1.4. Elle est également à confronter au retour d'expérience d'un autre gestionnaire de parc, encore plus important, diversifié et ancien.

2.2 Particularités de l'auscultation du parc de barrage EDF

2.2.1 L'auscultation du parc EDF

EDF exploite un parc important d'environ 350 barrages de classe A à C, de tous types (cf. figure 7), y compris canaux répartis sur l'ensemble du territoire (dont DOM TOM), comprenant des ouvrages de plaine et de montagne, présentant ainsi des modes d'exploitation, des âges et dimensions très variés.

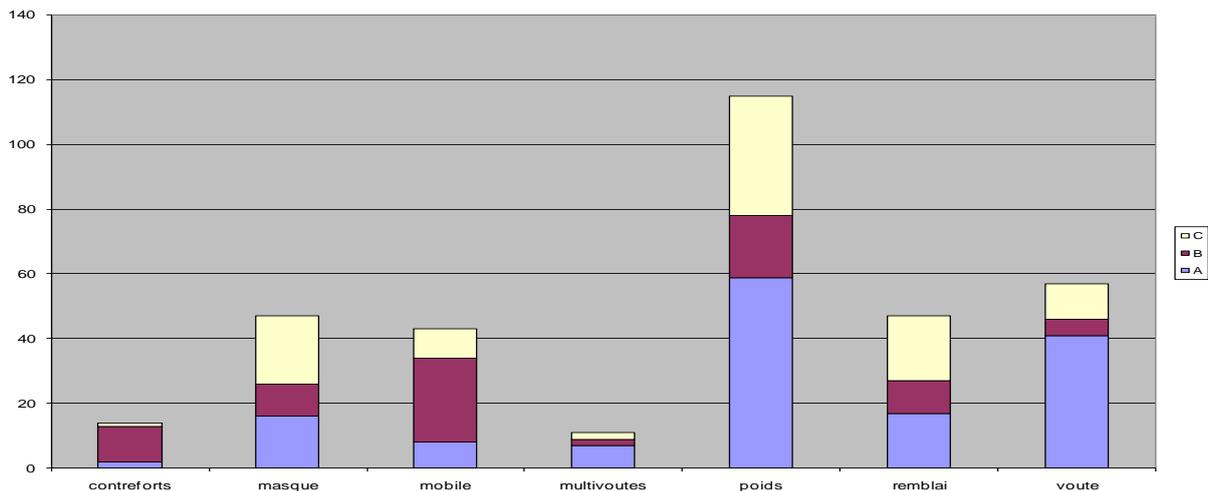


Figure 7 : Répartition par classe et types des barrages exploités par EDF

Ce parc de barrages a un âge moyen de 65 ans, avec des ouvrages centenaires pour les plus anciens, les plus récents ont été réalisés en 1996 et 2012 (barrages de Puylaurent et Rizzanese).

La surveillance à EDF est régie par une politique nationale, déclinée dans les différentes entités EDF qui y contribuent (i.e. le maître d'ouvrage, l'exploitant, l'ingénierie). En ce qui concerne l'auscultation, c'est l'Unité d'ingénierie spécialisée EDF-DTG qui assure, depuis 1946, l'essentiel de l'activité pour l'ensemble du parc, en s'appuyant malgré tout sur les autres entités, en particulier les exploitants qui réalisent les inspections visuelles et la majorité des mesures (hormis les mesures topographiques).

L'auscultation à EDF se décline essentiellement en 4 activités :

- la réalisation des mesures (Exploitants et DTG pour les mesures topographiques),
- la surveillance opérationnelle,
- l'instrumentation,
- la rédaction de rapports et d'études concernant le comportement des ouvrages.

DTG accompagne l'exploitant dans sa tâche de **réalisation de la mesure** (guide de réalisation, formation) et assure une « **surveillance opérationnelle** » qui consiste à détecter des éventuelles anomalies et à valider les mesures d'auscultation avant de les intégrer dans la base de donnée (base unique partagée KOALA). DTG vérifie ainsi la « normalité » de l'ensemble des mesures qui sont envoyées par l'exploitant au Centre Régional d'Auscultation (1 site à Grenoble, Toulouse et Brive), avec des outils statistiques spécifiques. Un journal de bord est tenu par DTG afin de tracer les particularités des mesures reçues. Des actions peuvent être engagées en cas de dépouillement de mesures « anormales » (e.g. demande de confirmation de la mesure, mise en place d'un suivi rapproché,...).

L'instrumentation consiste à qualifier, installer et contrôler et maintenir dans le temps les capteurs d'auscultation afin qu'ils répondent aux exigences métiers (robustesse, fonctionnalité et fiabilité dans le temps, justesse, absence de dérive).

Les rapports d'auscultation permettent d'évaluer le comportement du barrage à partir de l'analyse et l'interprétation des mesures réalisées. Ces rapports constituent la finalité de l'auscultation dont la qualité d'analyse dépend entre-autres, du sérieux apporté aux trois autres activités précitées.

2.2.2 Les modalités de suivi et les dispositifs d'auscultation

La surveillance des barrages à EDF est une activité sous assurance de la qualité, les exploitants s'appuient sur un référentiel organisationnel et technique leur permettant, entre autres, d'établir pour chacun d'eux la consigne de surveillance. Ce référentiel répond aux exigences de la nouvelle réglementation, en particulier, les exigences spécifiques qui requièrent, pour tous les ouvrages, un examen visuel régulier de l'exploitant, complété par une visite technique approfondie, et un dispositif d'auscultation lorsqu'il est présent ou à défaut, lorsqu'il s'avère nécessaire d'en équiper le barrage.

La démonstration de la nécessité d'équiper un barrage d'un dispositif d'auscultation fait l'objet d'études spécifiques à EDF (diagnostic de surveillance) menés depuis 2008 sur les 71 barrages de classes B et C qui n'étaient pas équipés de dispositifs d'auscultation en 2008 (cf. figure 7). La méthodologie appliquée pour répondre à la justification de la surveillance avec ou sans auscultation est basée sur des principes d'analyse de risques [2].

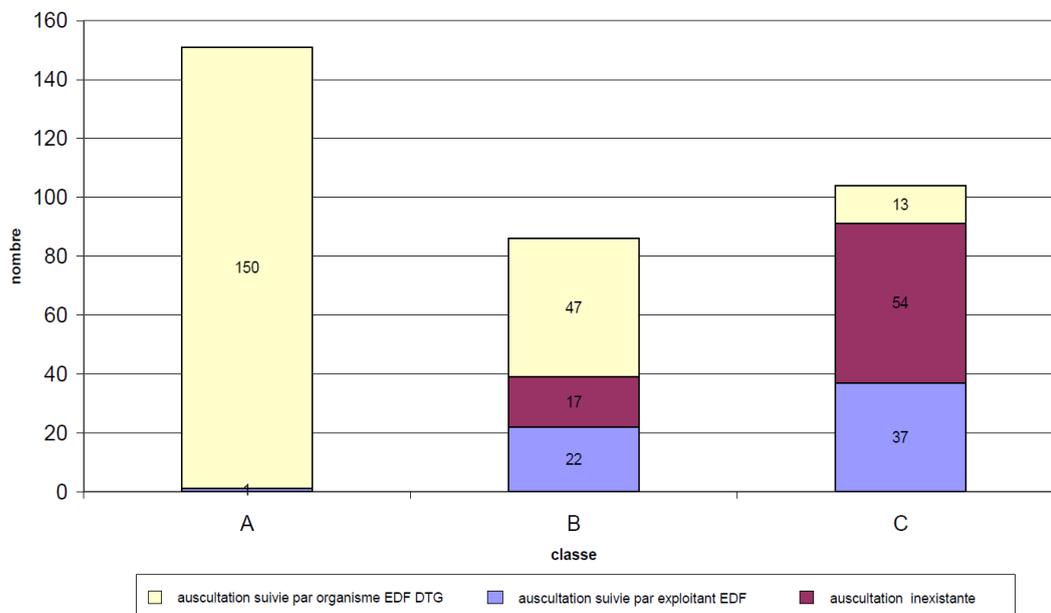


Figure 8 : Proportion par classe des barrages auscultés par EDF en 2008

2.2.3 Les enseignements des moyens et résultats d'auscultation

L'auscultation constitue la partie quantifiée de la surveillance des barrages qui s'appuie également de façon systématique sur les inspections visuelles régulières des ouvrages et les VTA. La valeur ajoutée et la finesse d'analyse apportée par les mesures d'auscultation sont indéniables mais doivent être pensées et orientées par rapport aux risques redoutés pour l'ouvrage. Ainsi, même si des principes généraux s'appliquent par type de barrage, un dispositif d'auscultation est spécifique à chaque ouvrage et dépend forcément de sa conception, de son historique et son état. De plus, les mesures d'auscultation ne revêtent pas la même importance selon l'âge de l'ouvrage. Elles sont ainsi fondamentales et à fréquence soutenue lors de sollicitations particulières et a fortiori lors du premier remplissage du barrage. Ces mesures permettent de vérifier le comportement à la mise en eau et le comparer aux hypothèses de conception. Par la suite, et tout au long de la vie de l'ouvrage, l'auscultation doit être adaptée (phénomènes à surveiller, nombre de capteurs, localisation,

fréquence des mesures,...) au comportement de l'ouvrage connu à partir des données des dispositifs de surveillance. Les examens visuels en particulier seront bien souvent les premiers à pouvoir détecter l'apparition d'une venue d'eau, qu'il conviendra le cas échéant, de suivre en auscultation (mise en place d'un collecteur de débit) ou de simplement continuer à suivre en examen visuel (s'agissant d'un suintement diffus par exemple).

2.2.4 Illustration de cas particuliers d'évolution de dispositifs

Si le principe d'adaptation de la surveillance aux risques (sous entendu de rupture du barrage) est adopté de façon implicite par l'ingénierie depuis des décennies, il devient de plus en plus explicite avec l'approche EDD/RS (Etudes de Danger / Revues de Sûreté). S'agissant d'études systémiques d'analyse de risque, les préconisations formulées à l'issue de celles-ci peuvent conduire à des actions de maîtrise voire de réduction des risques qui concernent la surveillance et en particulier l'auscultation.

De manière générale, et indépendamment des EDD, le REX d'EDF en matière d'évolution de dispositif d'auscultation montre que certaines thématiques sont assez récurrentes. Nous en donnons ci-après quelques exemples.

2.2.4.1 Dispositif mécanique des barrages voûtes

Si les grands barrages voûtes du parc EDF étaient équipés dans leur majorité de dispositifs de mesures topographiques afin de surveiller leurs déplacements topographiques, certains étaient également pourvus d'extensomètres à corde vibrante (témoins sonores), noyés dans le béton à la construction et disposés à différents endroits de l'ouvrage (cf. figure 9). Ces derniers s'avéraient fort utiles pour déterminer le champ de déformation de la voûte (et par là même les « rosettes » du champ de contrainte) à la mise en eau. Ce champ mesuré in-situ était comparé aux résultats de modélisation prévus à la conception et complété par les mesures planimétriques permettant de vérifier que les déplacements d'ensemble de l'ouvrage correspondaient aux prévisions du calcul.

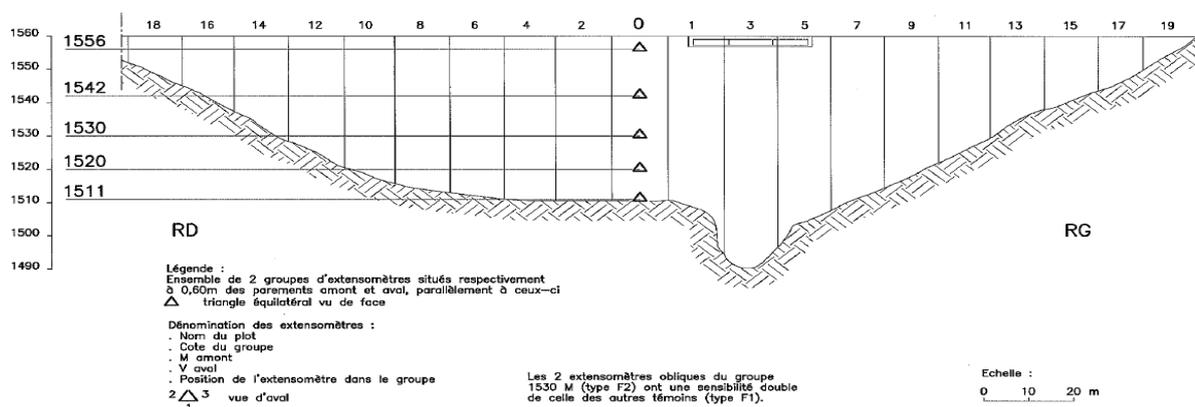


Figure 9 : exemple de dispositif d'extensomètres d'un barrage voûte

Au fil du temps, les mesures locales aux extensomètres (témoins sonores) n'apportant plus grand intérêt sur le comportement de la voûte ont souvent été suspendues (a minima la fréquence de leur mesure a été allégée). En effet, les signes caractéristiques d'évolution irréversible de ces barrages sont beaucoup mieux évalués par des dispositifs intégrateurs tels que la planimétrie ou les pendules.

Ainsi, afin de mieux connaître les déplacements des barrages voûtes, caractérisés notamment par une sensibilité thermique plus marquée que sur les barrages poids, des effets irréversibles pouvant

être induits par le retrait, le fluage et/ou un éventuel gonflement du béton, des pendules (voire télépendules sur les barrages d'altitude difficiles d'accès) ont souvent remplacé les mesures topographiques. L'implantation de lignes de pendules sur les barrages voûtes n'a pas été généralisée (parfois délicats à mettre en œuvre sur des voûtes à double courbure notamment) mais a été étudiée dès que les mesures planimétriques montraient des évolutions marquées ou des imprécisions liées à la qualité du réseau topographique.

2.2.4.2 Dispositifs hydrauliques des barrages en remblais

Les barrages en remblais, du fait de leur caractère érodable, sont particulièrement sensibles aux phénomènes de percolation d'eau, pouvant entraîner des risques d'érosion. Comme l'a précédemment décrit la CACG, les composants assurant les fonctions d'étanchéité, de drainage et de filtration sont fondamentaux pour ces ouvrages et la surveillance doit permettre de vérifier leur bon fonctionnement dans le temps. Ainsi, les mesures de piézométrie (en fondation ou dans le corps de l'ouvrage) et de mesure de débits (de fuites ou de drainage) sont quasi-systématiquement présentes dès la conception d'un barrage en remblai.

Au fil du temps, l'entretien de ces capteurs est fondamental à leur maintien en condition opérationnelle. Le cas des capteurs de pression interstitielle est particulier : noyés à la construction dans le matériau du remblai, ils sont inaccessibles et ne peuvent pas être remplacés. Aussi, le vieillissement de ces capteurs (avec les risques associés de dérive ou de panne) est particulièrement redouté. C'est ainsi que le choix du capteur et le soin apporté à son installation en phase chantier sont fondamentaux, en particulier pour les cellules à corde vibrante dont le respect des préconisations de mise en œuvre et de câblage est un gage d'exploitation durable du capteur.

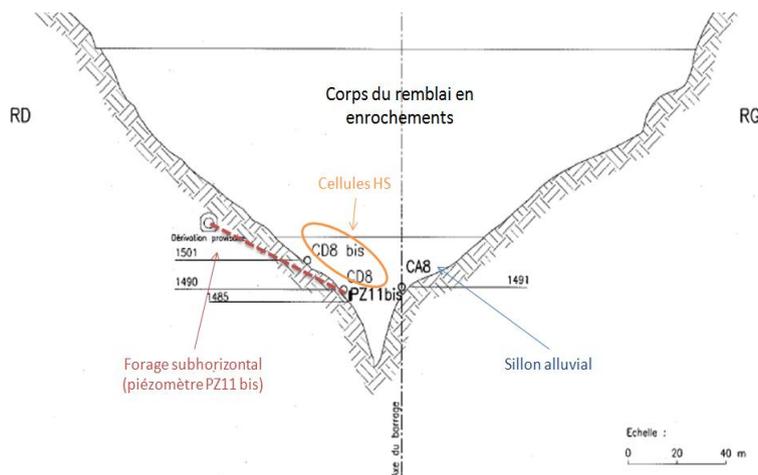
Malgré les précautions prises à l'installation, il arrive de « perdre » des capteurs inaccessibles qui ne sont plus contrôlables ni interchangeable. Il convient alors d'étudier l'impact de la perte de ce capteur sur la qualité de la surveillance de l'ouvrage. Si dans de nombreux cas, la redondance de capteurs, prévue à la conception permet de se satisfaire de cette perte d'information, elle peut être, dans certains cas préjudiciable à la bonne appréciation du comportement de l'ouvrage et nécessiter de mettre en place un complément de surveillance.

Cette opération est loin d'être triviale car elle nécessite d'implanter des cellules de pression à partir de forages, au plus près de la zone qui était auscultée, bien souvent difficile d'accès (matériaux parfois hétérogènes) ou bien sensible (noyau argileux) en s'efforçant de ne pas fragiliser l'ouvrage. Il est d'ailleurs pratiquement impossible et peu souhaitable d'intervenir directement dans un noyau argileux d'un barrage en remblai, sous peine de fragiliser celui-ci.

Néanmoins, en dépit des difficultés de forage liées à l'hétérogénéité des matériaux rencontrés, il reste possible d'implanter des piézomètres directement à l'aval du noyau. Ainsi, il a été possible de réhabiliter un piézomètre défaillant dans la recharge aval de Serre-Ponçon, grâce à des technologies de forage innovantes (carottage « sonique » sur 100 m de profondeur, utilisant un système de vibration des trains de tige pour éviter l'usage de fluide) (cf. **Figure 10** ci-contre).



De même, des solutions ont été trouvées grâce aux nouvelles techniques de forage de précision.



Ainsi pour implanter sur un barrage pyrénéen, deux chambres piézométriques dans la fondation alluviale pour pallier les défaillances de cellules installées à la construction.

Cela a consisté à forer depuis la galerie de l'évacuateur de crue dans l'appui rocheux RD (ancienne dérivation provisoire), deux piézomètres d'environ 80 m subhorizontaux, atteignant la zone à ausculter dans le sillon alluvial profond (cf. figure 11 ci-contre).

Figure 11 : exemple d'implantation d'une cellule en fondation alluviale depuis la galerie de dérivation provisoire sous appui

Enfin, EDF travaille de concert avec les fabricants de capteurs d'auscultation et d'appareils de mesure pour améliorer la fiabilité de ces dispositifs. En particulier des travaux récents ont été menés par DTG dans le domaine de l'auscultation des structures de génie-civil des installations nucléaires afin d'essayer de réinterroger des capteurs à corde vibrante a priori hors service qui, sous certaines conditions d'interrogation, redeviennent capables de fournir une mesure. Ces applications sont toujours en tests dans le domaine de l'auscultation des barrages.

3. APPROCHES PRAGMATIQUES ADOPTEES PAR LES DEUX MAITRES D'OUVRAGES

3.1 Des principes communs...

Parmi les axes de réflexion pour élaborer un dispositif de surveillance, de nombreux points communs partagés par les gestionnaires d'ouvrages se résument en :

- la pertinence de la surveillance vis-à-vis des risques de défaillance d'un ouvrage vieillissant présentant des pathologies ou susceptible d'en présenter (la surveillance doit être centrée sur la recherche de précurseurs de défaillance),
- un juste équilibre entre apport technique et coût d'installation, de maintenance, de maintien en condition opérationnelle du dispositif d'auscultation,
- une bonne complémentarité entre la surveillance qualitative (examens visuels) et quantitative (auscultation), ainsi que l'ensemble des techniques complémentaires à disposition pour améliorer la surveillance (reconnaitances géophysiques, prélèvements de matériaux, modélisations, systèmes d'alarme,...),
- la remise en question d'appareils existants vis-à-vis de leur fonctionnalité : l'auscultation d'un barrage à sa mise en eau n'a pas la même finalité que celle au jeune âge, ou durant son vieillissement,
- la prise en compte du REX et des effets de ces deux parcs d'ouvrages exploités afin d'adopter des démarches par similitude pour extrapolation à d'autres situations.

3.2 ... Mais aussi des adaptations spécifiques

3.2.1 Pour EDF, l'obligation d'une démarche homogène pour objectiver la surveillance d'un parc très important

Compte-tenu du nombre important et de la diversité (de types, d'âges) de barrages exploités et surveillés par EDF, la justification de la pertinence et la performance de la surveillance est une question qui est très récurrente et complexe. EDF a ressenti le besoin d'élaborer une démarche commune, partagée, intégrée au référentiel technique interne afin d'adopter des principes, les plus homogènes possibles, sur les différents cas de justification à fournir. Cela s'est concrétisé dans les années 2008-2009, alors que l'activité des EDD/RS bâtissait également son référentiel technique, par l'élaboration d'un guide méthodologique propre à chaque type de barrage (poids, remblai, voûte, mobile) basé sur des principes d'analyse de risques de défaillance. Cet outillage facilite le diagnostic de l'ingénieur chargé de définir la surveillance d'un ouvrage en offrant des parades de surveillance adaptées aux risques identifiés [2].

3.2.2 Pour la CACG une nécessaire vision plus nuancée

Dans le cadre de ses diverses concessions sur le bassin Aquitain notamment, la CACG se doit d'anticiper l'évolution des besoins sur ce périmètre. Les projets étant de plus en plus complexes à faire émerger, malgré les demandes toujours présentes sur le territoire, les usages commencent à tendre le système géré. Aucun dysfonctionnement ou risque de non disponibilité de la ressource (notamment en regard de prescriptions sécuritaires) n'est tolérable. Cela montre l'importance du suivi du parc existant. Ne pas le voir se dégrader, permet d'assurer la continuité du service, donc sa pérennité.

Cependant, l'enjeu de la préservation de ces ressources est également lié à l'économie qu'elles soutiennent. Les principaux objectifs poursuivis, dans le cadre de sa mission générale, par la CACG sont certes pour partie économiques (agricoles) mais dans un secteur à faibles marges, et environnementaux, alors sans aucune contrepartie financière. Les nouveaux investissements éventuellement requis sur d'anciennes réalisations ne sont guère intégrables dans les comptes d'exploitation. Il convient de bien peser l'ajout réel en termes de sécurité.

4. CONCLUSIONS

Les deux Maîtres d'ouvrages/exploitants ont été amenés depuis de longues années à justifier du comportement de leurs ouvrages en s'appuyant sur des dispositifs de surveillance conçus avec déontologie et discernement, puis qu'ils ont su progressivement adapter en fonction de leurs propres retours d'expérience et en respect des textes réglementaires.

Toutefois, le vieillissement de leurs parcs respectifs, l'évolution des connaissances scientifiques et des normes sécuritaires, les conduisent à des choix difficiles en matière d'adaptation permanente. Les réponses apportées en accord avec l'Administration sont aujourd'hui satisfaisantes. Tout en retenant que les ouvrages gérés sont sains et stabilisés, la justification de leur surveillance est désormais systématiquement intégrée dans les réflexions menées notamment dans le cadre des EDD. C'est ainsi que la pertinence de la surveillance fait l'objet de démonstrations plus explicites qu'auparavant, même si les principes retenus restent inchangés et s'articulent sur l'adaptation permanente de la surveillance des barrages aux risques et aux enjeux auxquels ils sont confrontés.

5. RÉFÉRENCES

Colloque CFBR : « Auscultation des barrages et des digues - Pratiques et perspectives », 27-28 Novembre 2012, Chambéry

[1] CACG : Boubée D., Brodin JL. “Incidence des nouvelles prescriptions sur les pratiques de suivi et de contrôle par un gestionnaire de parc de barrages-réservoirs “ communication au colloque CFBR/AFEID de novembre 2011

[2] Sausse. J., Bourgey P. *La surveillance adaptée aux risques*. Colloque CFBR “Auscultation des barrages et des digues- pratiques et perspectives”, Chambéry, 27-28 novembre 2012.