

ETUDES DE DANGERS : PRATIQUE ET RETOUR D'EXPERIENCE DES DIAGNOSTICS EXHAUSTIFS MENES SUR DES BARRAGES EN REMBLAI DU SUD- OUEST DE LA FRANCE

Risk assessment : management and feedback of exhaustive diagnosis methods applied to earthfill dams in the south-west of France

François LAUVERGNIER, Hélène ROUSSET, Sylvie CUSSEY

Rives & Eaux du Sud-Ouest, Chemin de l'Alette 65 000 TARBES

f.lauvergnier@riveseteaux.fr ; h.rousset@riveseteaux.fr ; s.cussey@riveseteaux.fr

MOTS CLEFS

Barrages en remblai, études de dangers, diagnostics exhaustifs, inspections subaquatiques, ROV

KEY WORDS

Earthfill dams, risk assesment, diagnosis methods, underwater inspections, ROV

RÉSUMÉ

L'arrêté du 3 septembre 2018 portant sur les études de dangers de barrages a inclus dans le périmètre de ces études, la réalisation d'un diagnostic exhaustif. Rives & Eaux du Sud-Ouest a d'ores et déjà réalisé un certain nombre de ces diagnostics sur des barrages collinaires en remblai du Sud-Ouest de la France, barrages qu'elle exploite ou qui sont gérés par des tiers. A la lumière des investigations et autres contrôles réalisés depuis septembre 2018, un premier retour d'expérience peut être fait pour mettre en avant la pertinence des programmes de diagnostics mis en œuvre et des principales constatations faites. Comme premier constat, les diagnostics se sont globalement enrichis par rapport aux premiers examens techniques complets réalisés pour les barrages de classe A, permettant ainsi une connaissance plus fine des ouvrages.

Cette communication permet dans un premier temps d'exposer les différentes techniques de diagnostics mises en œuvre que ce soit pour les contrôles de vantellerie, de conduites, les inspections de génie civil, les investigations menées sur les corps de remblai et les dispositifs de drainage. Puis, les contraintes liées à certains diagnostics seront exposées, en particulier pour la réalisation des essais de vannes (avec la définition d'un protocole de manœuvre et la mise hors service temporaire de certains équipements ou organes), des inspections subaquatiques (avec discussion sur la pertinence des moyens mis en œuvre suivant la typologie des ouvrages), ou l'inspection des évacuateurs de crue qui posent aussi des problèmes d'accessibilité pour la réalisation des inspections.

Dans un second temps, un focus particulier est mis sur le type de résultats obtenus et la manière dont ces derniers ont été valorisés au travers de l'étude de dangers (que ce soit au niveau du bilan de l'état de l'ouvrage, ou via les études spécifiques accompagnant l'étude de dangers comme celles portant sur le risque d'érosion interne). La surveillance courante de l'ouvrage peut aussi alimenter les résultats d'une partie des diagnostics pour un suivi plus précis. Le retour d'expérience est complété par une présentation de différents désordres observés sur les barrages et leurs ouvrages annexes.

ABSTRACT

The decree of September 3, 2018 concerning dam risk assessments integrated exhaustive diagnosis in the scope of these studies. Rives & Eaux du Sud-Ouest has already carried out quite a few diagnostics on earthfill dams in southwest France. Those dams are operated by Rives & Eaux or by a third party. In light of the investigations and other checks carried out since September 2018, an initial feedback report can be produced to highlight the relevance of the diagnosis programs implemented and the main findings made. As a first

observation, the diagnosis have been enriched overall compared with the first full technical examinations carried out for class A dams, enabling a more detailed knowledge of the structures.

This paper will firstly describe the various diagnosis techniques used, to check the hydromechanical parts, pipes, concrete structures, or embankments and drainage systems. Then, the constraints linked to some diagnosis techniques will be explained, especially regarding valve testing (with the definition of a testing protocol and the temporary disabling of some other equipment or components), underwater inspections (with an analysis about the relevance of the means implemented depending on the type of structure), or inspections of spillways, which also raise the issue of accessibility for carrying out investigations.

Secondly, results will be exposed. We will present how these results have been used in the risk assessments (whether regarding the structures condition, or in specific studies included in risk assessments, such as studies dealing with the risk of internal erosion). Routine surveillance can also be affected by the results of diagnosis in order to improve the monitoring accuracy. Feedback will include a presentation of various disorders observed on dams and their components.

INTRODUCTION

Les diagnostics exhaustifs des barrages ont été intégrés dans les études de dangers par l'arrêté du 3 septembre 2018. Ils reprennent le principe des examens techniques complets (ETC) prévus initialement pour les barrages de classe A (d'une hauteur supérieure à 20 m selon la réglementation applicable avant 2015) en les généralisant aux barrages de classe A et B.

De fait, depuis 2018, des diagnostics exhaustifs ont été réalisés par Rives & Eaux du Sud-Ouest dans le cadre des révisions des études de dangers principalement sur des barrages de classe A mais aussi sur quelques barrages de classe B.

Cette publication est l'occasion de faire un premier retour sur l'évolution du type d'investigations et contrôles menés lors d'une dizaine de diagnostics sur un parc de barrages collinaires en remblai du sud-ouest de la France. Ce retour d'expérience inclut également des investigations menées dans le cadre de travaux de sécurisation découlant des premières études de dangers, ces travaux étant l'occasion de réaliser une « mise à niveau » globale de l'ouvrage en vue de répondre aux exigences de l'arrêté technique barrage ATB de 2018.

Les ouvrages concernés sont des barrages en remblai (principalement des remblais homogènes argileux mais aussi des barrages en enrochements avec noyau argileux) équipés soit de conduites de vidange sous remblai et d'évacuateurs de crues posés sur remblai, soit de galeries avec tour de prise et d'évacuation des crues. La hauteur des barrages concernés est généralement comprise entre 15 et 35 mètres. Les retenues de ces ouvrages sont principalement dédiées à l'irrigation et au soutien à l'étiage des cours d'eau (avec un abaissement estival des plans d'eau suivant les besoins).

METHODES DE DIAGNOSTIC ET CONTRAINTES

1.1 Vérifications menées

Dans un premier temps, il est intéressant de rappeler que les diagnostics menés sur les barrages considérés nécessitent de faire appel à des compétences variées de par la diversité des composants des ouvrages. Ainsi les spécialités suivantes sont en principe mobilisées dans le cadre des diagnostics (mais aussi plus largement pour la réalisation des études de dangers) pour chaque élément identifié :

- Géotechnique : remblai du barrage (y compris crête et parements amont et aval), cuvette de la retenue, dispositif d'auscultation ...
- Génie civil : évacuateur de crues, dispositif de restitution, chambre des vannes, dispositif d'auscultation ...
- Mécanique : vantellerie, conduite ...
- Electricité et automatisme : contrôle-commande et alimentation électrique ...

La mobilisation de ces compétences se fait dès l'élaboration du descriptif de la procédure des diagnostics à transmettre au préfet 6 mois avant la réalisation de ces derniers. En dehors des inspections visuelles effectuées dans le cadre du suivi courant des ouvrages (notamment lors des visites techniques approfondies – VTA), des inspections et diagnostics complémentaires sur les parties non facilement accessibles sont alors décrites :

- Inspections subaquatiques des parties immergées (en particulier ouvrages de prise et parements amont des barrages) ;
- Inspections par cordiste ou avec un équipement de maintien au travail pour certaines parties de génie civil (coursier d'évacuateur de crues, tour tulipe...) ;
- Inspections par caméra : conduite de vidange, vantellerie, drains ;
- Diagnostics spécifiques de la vantellerie (mesures d'épaisseurs, essais de manœuvre, mesures d'efforts, de déformations, de vibrations ...) ;
- Diagnostics électriques, du contrôle-commande et de la télétransmission ;
- Investigations géotechniques, géophysiques....

1.2 Difficultés rencontrées

La mise en œuvre de l'ensemble des vérifications décrites dans le paragraphe précédent est à mettre en adéquation avec certaines contraintes pouvant aller de la simple difficulté opérationnelle (accessibilité, sécurité, etc.) au défaut de compatibilité avec les besoins d'exploitation (usages de l'ouvrage, règlement d'eau, respect de la réglementation environnementales, etc.). Ces contraintes imposent certaines adaptations quant aux techniques d'examen envisagées, ainsi qu'un ajustement du calendrier des reconnaissances et interventions. Elles sont le plus souvent à l'origine de coûts supplémentaires pour le gestionnaire de l'ouvrage.

L'objet de ce paragraphe est de faire un état des lieux des difficultés rencontrées sur le terrain et de présenter les adaptations qui ont dû être faites avec le retour d'expérience.

1.2.1 Cas des inspections subaquatiques

L'inspection des parties habituellement immergées par des moyens subaquatiques (scaphandriers, ROV) est en principe privilégiée par rapport à une vidange totale de la retenue du fait notamment des incidences sur les usages et le milieu naturel. Les incidences d'une vidange totale sur le barrage en lui-même sont généralement moins impactantes, ces retenues pouvant connaître des abaissements conséquents en exploitation normale.

Différentes techniques ont été testées sur le parc de barrages objet du présent article :

- Que ce soit pour les moyens d'accès :
 - Inspections par scaphandriers ;
 - Inspections par ROV ;
- Que pour les outils d'inspections
 - Caméras couleur HD ;
 - Inspections par méthodes acoustiques.

On peut aussi mentionner les relevés bathymétriques effectués par une embarcation depuis la surface grâce à un échosondeur. Ce type d'inspection est soumis à plusieurs contraintes détaillées ci-après.

1.2.1.1 Contraintes de visibilité

La présence de fines en suspension dans la retenue est une problématique prégnante sur les barrages collinaires en contribuant à l'augmentation de la turbidité de l'eau. Les phénomènes influant sur la turbidité sont multiples : la potentielle eutrophisation du milieu en période estivale, le transport de matériaux fins par les cours d'eau en particulier lors de crue, le niveau d'envasement des retenues, la dégradation de matières végétales, les ruissellements sur les versants amonts ou latéraux dépendant de la nature des terrain ... De fait, la visibilité est le principal critère pouvant influencer le succès d'une inspection subaquatique, mais reste très aléatoire et difficile à anticiper.

Historiquement, considérant le fait que Rives & Eaux possède ses propres équipes de scaphandriers, ce moyen d'inspection a été privilégié. Les plongeurs sont équipés de caméras couleur HD et communiquent en permanence avec la surface. Parmi les avantages d'une inspection par cette méthode, on note :

- La possibilité de pouvoir toucher les zones inspectées ;
- La possibilité de contrôler les mouvements afin de limiter la mise en suspension de la vase aux abords des zones inspectées ;
- La communication en permanence avec la surface, permettant d’orienter facilement le circuit de la personne en charge de la reconnaissance.

En revanche, cette technique est très contrainte par la visibilité. Lorsque celle-ci est inférieure à 15 à 20 cm, les résultats sont difficiles à valoriser (et se cantonnent souvent à une inspection au toucher des parties les plus sensibles des ouvrages de prises). De plus, il n’est pas possible d’avoir de vues d’ensemble des ouvrages immergées. Ce type d’inspection est également contraint par la durée que peut passer le plongeur en immersion notamment en lien avec la profondeur de la zone inspectée.

A titre d’exemple, sont présentés ci-dessous des extraits des reconnaissances subaquatiques (scaphandriers) des ouvrages de prise des barrages de Filhet et de Mondély. Ces deux barrages sont situés à 4 km de distance l’un de l’autre sur les communes du Mas d’Azil et de Gabre, en Ariège. Les deux ouvrages ont été construits dans des environnements géologiques similaires et sont tous deux équipés d’une recharge amont en enrochements. Malgré les similitudes entre ces deux ouvrages, le caractère imprévisible de la turbidité a conduit à des conditions d’inspection idéales à Mondély et a contrario, à une plus forte turbidité lors de l’inspection du barrage de Filhet.



Figure 1 : Inspection de la tour de prise du barrage de Filhet (09)



Figure 2 : Inspection de la prise d’eau du barrage de Mondély (09)

Pour pallier cette incertitude liée à la visibilité, il a été envisagé de se tourner vers des méthodes de reconnaissance acoustique (scan 2D, caméras acoustiques, bathymétrie multifaisceaux).

L’expérience a été menée notamment en 2024 dans le cadre du diagnostic exhaustif du barrage de la Gimone (barrage remblai de classe A situé à cheval sur les départements du Gers et de la Haute-Garonne). Ce barrage a une longueur en crête d’environ 600 m et une hauteur au-dessus du terrain naturel de 29 m. En raison de ces caractéristiques géométriques, même en période de basses eaux, la partie immergée du parement amont à inspecter est considérable. De plus, il est nécessaire d’avoir une vision d’ensemble de l’ouvrage pour repérer les éventuels désordres. De fait, des reconnaissances subaquatiques classiques ne permettaient pas une visibilité suffisante. Le choix a donc été fait de réaliser une bathymétrie multifaisceaux sur l’ensemble du parement. Cette méthode s’est avérée satisfaisante.

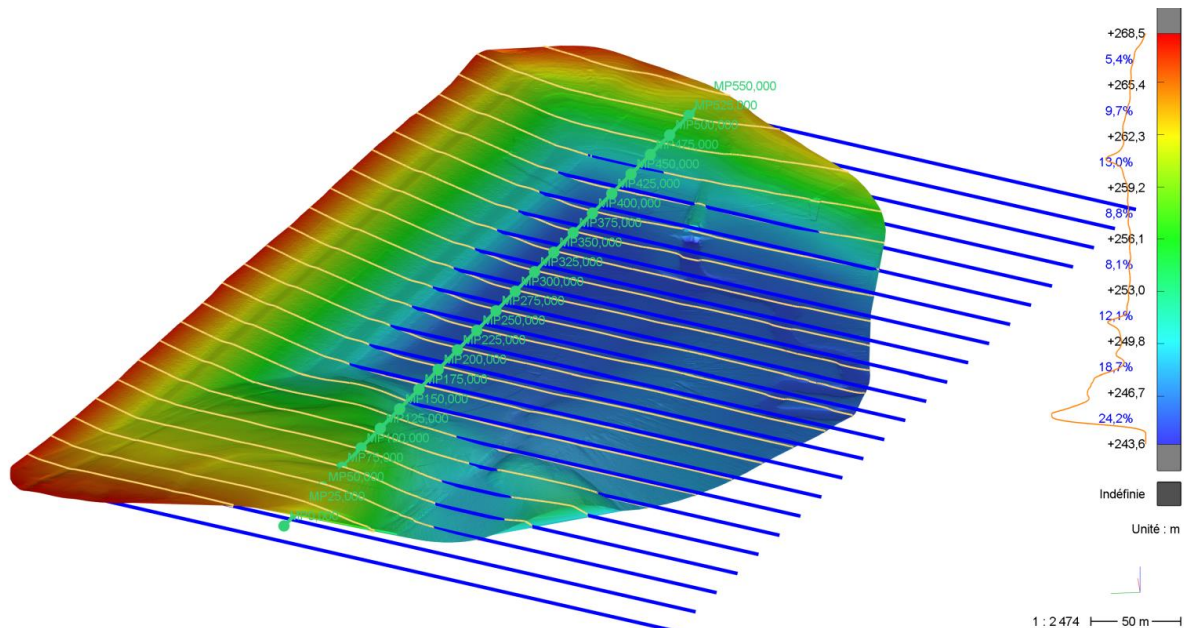


Figure 3 : Relevé bathymétrique du parement amont du barrage de la Gimone

Dans le même temps, la prise d'eau de ce barrage a fait l'objet d'une inspection par ROV équipé de caméras couleur et acoustique. La visibilité était bonne le jour de l'inspection et a permis d'utiliser de façon privilégiée la caméra couleur. En revanche, deux éléments ont sensiblement perturbé le bon déroulement de l'examen :

- La mise en suspension de la vase par les moteurs du ROV ;
- Les difficultés de repérage au niveau de l'ouvrage.

La caméra acoustique a été utilisée pour réaliser une vue d'ensemble de l'ouvrage. Les images obtenues ont permis de vérifier la fiabilité du dossier de récolement du barrage en termes de dimensions. En revanche, la précision des rendus obtenus est insuffisante pour identifier d'éventuels désordres. La caméra couleur s'est avérée plus performante (voir différence ci-dessous).

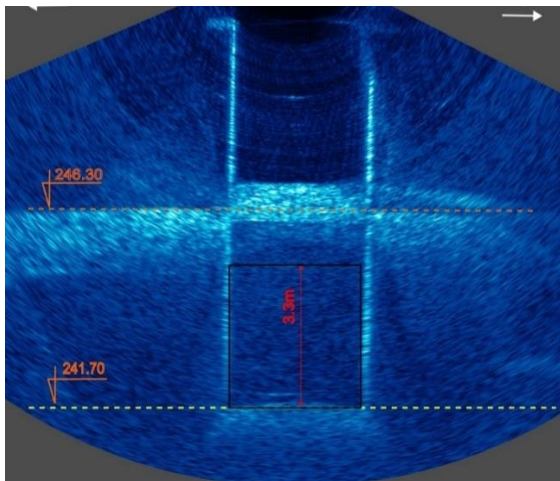


Figure 4 : Vue d'ensemble de la prise d'eau – image acoustique



Figure 5 : Raccordement de la brimbale de la vanne batardeau sur son support

1.2.1.2 Contraintes d'exploitation

Pour des raisons de sécurité des personnes ou du matériel, toute inspection subaquatique, qu'elle soit réalisée par des scaphandriers ou par ROV, nécessite la consignation électrique et mécanique de l'ensemble des dispositifs de vidange et de restitution afin d'éviter tout débit d'appel lors de l'inspection. Or, il est généralement impossible à l'exploitant d'interrompre la continuité hydraulique afin d'assurer le maintien du débit réservé ou, suivant la période, de débits objectifs d'étiage, ou autres contraintes inscrites au règlement d'eau ou faisant partie des fonctions principales de l'ouvrage. De fait, les inspections doivent être programmées soit en période

de déversement des évacuateurs de crues de surface, ou nécessitent la mise en œuvre d'un dispositif de pompage temporaire, qui représente un coût et une logistique supplémentaire à prendre en compte pour l'exploitant.

1.2.1.3 Contraintes d'accès

Quelle que soit la méthode retenue pour les inspections subaquatiques, il est nécessaire d'une part, d'acheminer les supports nautiques sur site et d'autre part de pouvoir les mettre à l'eau et les récupérer en assurant la sécurité du matériel et du personnel. Le retour d'expérience montre qu'il est parfois nécessaire d'adapter les matériels prévus en fonction des possibilités sur site. C'est notamment le cas sur le barrage de la Gimone déjà cité plus haut, sur lequel une inspection de la prise d'eau par ROV a été réalisée en 2024. En effet, la prise d'eau se trouve très éloignée de la crête du barrage (environ 200 m en amont), ainsi que des berges de la retenue (environ 100 à 150 m au plus près). Il a donc été nécessaire de prévoir un ombilical suffisamment long afin de pouvoir piloter le ROV depuis les zones accessibles aux véhicules.

1.2.1.4 Bilan des différentes techniques employées

Considérant les différentes inspections réalisées dans le cadre des diagnostics menés par Rives & Eaux, les différentes solutions ont été évaluées de la façon suivante :

	Avantages	Inconvénients
Scaphandriers	-Possibilité de toucher les zones inspectées -Contrôle de la mise en suspension de la vase -Communication permanente avec la surface -Adapté pour les ouvrages de prise de dimensions réduites	Temps en immersion et donc surfaces d'inspection limitées Mesures de sécurité à mettre en œuvre (protocole de plongée)
ROV	-Longue autonomie en immersion -Accès aux milieux difficiles	-Mise en suspension de la vase à cause des moteurs -Difficulté de repérage
Caméra couleur	-Bonne visibilité des désordres	-Inefficace en eaux turbides -Inadapté pour les grandes surfaces de remblai immergé
Caméra acoustique	-Efficace en eaux turbides -Vue d'ensemble avec possibilité de vérifier la géométrie globale des ouvrages	-Résultats peu précis -Peu adaptée aux ouvrages en remblai
Bathymétrie	-Adaptée pour les grandes surfaces de remblai immergé	-Inadapté pour les éléments de génie civil ou de vantellerie

1.2.2 Cas des inspections des conduites de vidange et restitution

Dans le cadre des examens exhaustifs, sont systématiquement incluses les inspections des conduites ou galeries traversant les ouvrages et de leurs équipements. Etant donné les diamètres restreints des conduites des ouvrages concernés, des inspections par charriot avec caméra sont privilégiées. Trois configurations sont rencontrés pour les traversées sous remblai : conduites enterrées sous le remblai (avec un enrobage en béton) ; conduites posées dans des galeries enterrées sous remblai ; galeries sans équipements (pas de conduites). Des mesures d'épaisseur sur les conduites métalliques non enterrées peuvent être également effectuées si des zones corrodées sont identifiées.

1.2.2.1 Contraintes de réalisation

Les inspections réalisées sur le parc d'ouvrages diagnostiqués ont été faites à sec. La mise hors d'eau des conduites constitue déjà une première contrainte technique dans la mesure où elles ne sont pas systématiquement équipées de dispositifs automatiques de batardage (vanne amont manœuvrable à distance). Dans ces cas, il est nécessaire de faire intervenir au préalable une équipe de scaphandriers pour mettre en œuvre une plaque pleine en amont de la conduite ou manœuvrer localement une vanne batardeau.

Passée la première étape de la mise à sec, un nettoyage de la conduite par hydrocurage est effectué avant l'introduction du chariot caméra depuis l'aval. Sur les conduites de vidange des ouvrages concernés, qui sont généralement équipées de vannes à ouverture totale, cette opération ne présente pas de problème. Il suffit

d'ouvrir totalement la vanne de vidange aval et de la consigner électriquement et mécaniquement en position ouverte. En revanche, d'autres types de conduites nécessitant d'être inspectées, en particulier au niveau des restitutions, sont équipées de vannes de type Monovar, ou jet creux par exemple, qui rendent impossible cette opération, sans dépose préalable de la vanne ou adaptation de la conduite (sectionnement avec mise en place d'un manchon).

L'ensemble de ces contraintes de réalisation contribue à rallonger la durée globale de ce type d'inspection ou à réaliser des travaux préalables et donc impacte potentiellement le fonctionnement du barrage en exploitation courante.

1.2.2.2 Contraintes d'exploitation

Lors des inspections par caméra des conduites ou galeries traversant les barrages, la mise à sec de ces dispositifs est réalisée, avec, comme pour les inspections subaquatiques, la consignation électrique et mécanique des éléments de vannerie associés et dispositifs assurant la restitution des débits réservés.

1.2.2.3 Contraintes de sécurisation des personnels

Dans le cas de galeries de vidange inspectées à pied, il est nécessaire de prendre des dispositions particulières pour la sécurité des personnels. Il s'agit d'une part de consigner électriquement et mécaniquement tous les éléments de vannerie assurant la mise à sec du conduit, et d'autre part de garantir une ventilation suffisante de celui-ci suivant la configuration de l'aménagement.

A titre d'exemple, l'inspection de la galerie de prise du barrage de la Gimone a été réalisée en 2024. Il s'agit d'une galerie d'environ 260 m de long et de section circulaire de 3,3 m de diamètre, dont le fonctionnement normal est en charge. Celle-ci a exceptionnellement été mise hors d'eau pour l'examen (fermeture de la vanne batardeau au niveau de l'ouvrage de prise par les scaphandriers). Cette galerie débouche à l'aval sur une chambre des vannes et peut être isolée à ce niveau par une vanne de garde de type guillotine de diamètre nominal 1 200 mm. L'accès des personnels se fait depuis un trou d'homme situé en aval immédiat de cette vanne de garde.

Il est donc nécessaire de passer à travers la vanne ouverte pour entrer dans la galerie. La vanne de garde est maintenue en position ouverte par un vérin de verrouillage. Le contrôle annuel de 2023 a montré un défaut de fonctionnement de ce vérin. L'exploitant a donc procédé à une révision complète de la vanne de garde et une réhabilitation du dispositif de verrouillage en juin 2023.

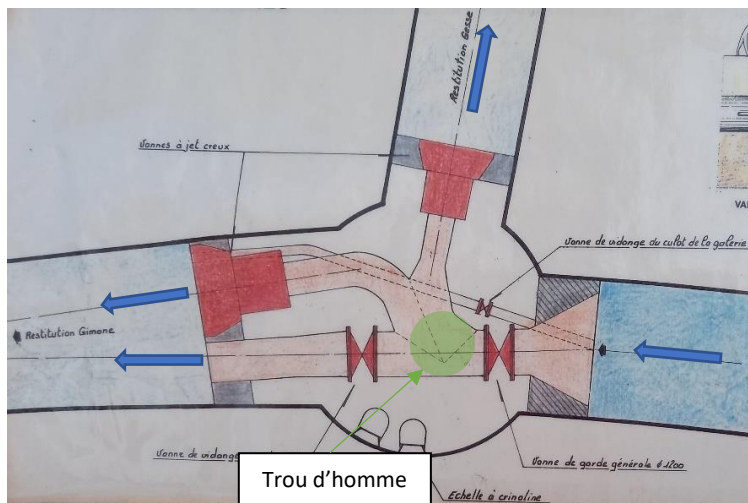


Figure 6 : Chambre des vannes du barrage de la Gimone

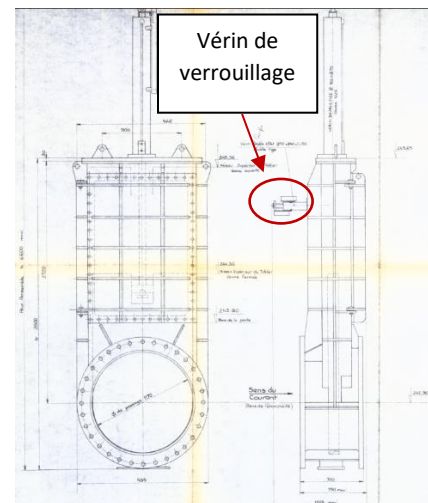


Figure 7 : Vanne de garde

La galerie n'étant équipée d'aucun dispositif de ventilation, les personnels en charge de l'examen doivent être formés pour évoluer dans ce type de milieu et notamment équipés d'ARI (Appareils Respiratoires Isolants) et détecteurs de gaz.

1.2.3 Cas des inspections et essais d'ouverture/fermeture des vannes sur conduites de vidange

Pour les vannes équipant ces conduites, elles font l'objet d'une inspection visuelle complète ainsi que d'essais de manœuvre (ouverture et fermeture complète et partielle dans différentes configurations avec les différents moyens de manœuvre y compris le dispositif manuel de secours). Les dispositifs de manœuvre (vérins et centrales hydrauliques, motorisations électriques) ainsi que les automatismes sont aussi inclus dans le périmètre du diagnostic (identification du matériel et vérification visuelle). Des vérifications spécifiques peuvent être prévues comme le suivi de la montée en pression des centrales hydrauliques lors de la manœuvre.

Concernant les essais de vanne, une ouverture complète en charge peut être difficile à envisager du fait des débits importants pouvant être lâchés en aval et les potentielles incidences environnementales (eaux chargées en fines pouvant dégrader la qualité des eaux des cours d'eau). Dans ce cas, une ouverture partielle de la vanne en charge est souvent effectuée, puis une ouverture complète hors d'eau pour vérifier le bon fonctionnement mécanique de la vanne.

1.2.4 Cas des inspections des dispositifs d'évacuation des crues

On peut distinguer deux types d'ouvrages à inspecter : les évacuateurs de crues de surface posés sur le remblai ou sur versant et les évacuateurs de crue de type tour tulipe avec galerie sous remblai.

1.2.4.1 Contraintes de réalisation

L'inspection des évacuateurs de crues peut nécessiter des interventions préalables de nettoyage des ouvrages qui peuvent être en partie recouverts de mousses ou de dépôts laissés lors de déversements.

Concernant les bassins de dissipation, leur mise hors d'eau peut aussi être envisagée afin de favoriser une inspection visuelle détaillée.

1.2.4.2 Contraintes d'exploitation

Les inspections d'évacuateurs de crues sont effectuées hors d'eau. Un léger abaissement du plan d'eau peut être réalisé quelques jours avant l'inspection dans le cadre de la gestion courante de l'ouvrage. Habituellement ces investigations sont programmées à une période où le plan d'eau est bas.

Concernant les bassins de dissipation, un batardage par l'aval peut être nécessaire afin d'éviter la remontée des débits restitués vers l'amont.

Un exemple récent est présenté ci-dessous. Il s'agit de l'inspection de la galerie d'évacuation des crues du barrage de Puydarrieux (barrage en remblai de classe A situé dans les Hautes-Pyrénées) inspectée en 2022. La seconde galerie de restitution permet de maintenir le débit réservé tout en inspectant la galerie d'évacuation des crues.

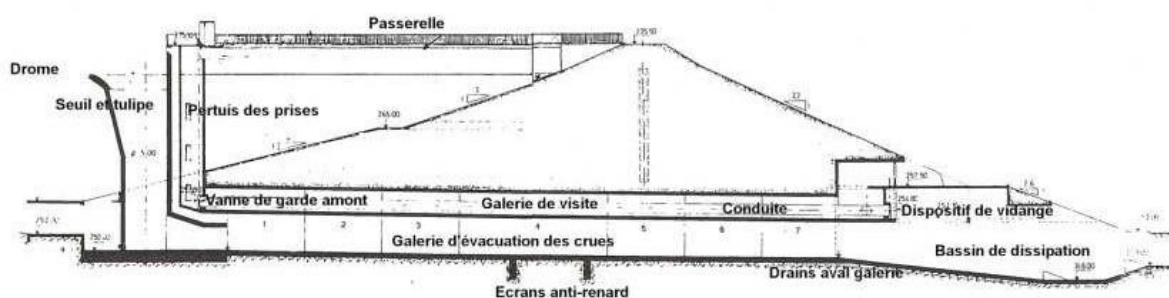


Figure 8 : Schéma de principe du barrage – Profil dans l'axe de l'évacuateur de crues et de la vidange

Ce barrage est équipé d'une tour tulipe permettant de collecter les débits de crues et d'une galerie inférieure d'évacuation traversant l'ensemble du barrage et débouchant dans un bassin de dissipation.

Sur cette même tour, un puits de prise équipé de prises d'eau étagée permet la restitution des débits en exploitation normale. Ce puits se prolonge par une conduite posée dans une galerie supérieure et débouchant dans le bassin de dissipation de l'évacuateur de crue.

Pour cette opération, un batardeau provisoire a été mis en œuvre en sortie de galerie, au niveau du bassin de dissipation. Le bassin a ensuite été vidangé par pompage, permettant ainsi son inspection ainsi que celle de la galerie d'évacuation des crues depuis l'aval.



Figure 9 : Batardeau de la galerie d'évacuation des crues du barrage de Puydarrieux

1.2.4.3 Contraintes de sécurisation des personnels

Une sécurisation du personnel en charge de l'inspection est en principe à prévoir pour accéder aux ouvrages et pour réaliser les inspections des parties les plus pentues (coursier posé sur talus aval de barrage). Le choix a été fait chez Rives & Eaux de former et d'équiper (sécurisation lors des inspections avec baudriers et cordes) les ingénieurs génie civilistes en charge de ces inspections des évacuateurs de crues de surface, afin de garantir la qualité du diagnostic et rationaliser le recours à des prestataires.

Le recours à des cordistes est privilégié pour l'inspection des tours tulipe.

EXPLOITATION DES RESULTATS

1.3 Désordres identifiés

1.3.1 Désordres liés au remblai

Certains barrages en remblai peuvent présenter des mouillères en talus ou pied aval du barrage. Dans le cadre du diagnostic exhaustif, il est intéressant d'analyser plus en avant les observations de terrain afin d'orienter un programme d'investigations : le but étant de confirmer l'analyse de la pathologie. Ainsi une influence saisonnière ou une relation avec le niveau de remplissage du plan d'eau peut être recherchée afin d'orienter sur l'origine des circulations d'eau. Suivant le contexte, des reconnaissances géophysiques et géotechniques peuvent être préconisées.

Sur plusieurs barrages, des instabilités du talus amont ont pu être observées lors de la surveillance courante des ouvrages, en particulier en phase de déstockage de la retenue. Ces instabilités font rapidement l'objet de travaux de confortement et n'entrent pas en principe dans le cadre de diagnostic d'études de dangers. En revanche, une attention particulière est apportée à l'analyse des situations de déstockage sur la stabilité des remblais de barrage avec, suivant le contexte, la réalisation d'investigations géotechniques lors de diagnostics exhaustifs de certains ouvrages.

1.3.2 Désordres liés au génie civil

1.3.2.1 Évacuateurs de crues

Concernant les barrages en remblai, les éléments de génie civil présents concernent principalement les évacuateurs de crues à surface libre ainsi que les chambres de vannes. La majorité de ces éléments sont inspectés régulièrement sans moyens spéciaux dans le cadre de la surveillance courante (à l'exception des ouvrages de prise ou des galeries enterrées). Le diagnostic exhaustif des études de dangers est l'occasion de réaliser des inspections plus précises. Elles ne permettent pas en principe de mettre en avant des désordres significatifs qui n'auraient pas été vus lors de l'inspection courante mais de dresser un état des lieux plus détaillé (levés de fissures avec rendu sur plan et caractérisation).

Les pathologies les plus notoires observées concernent des basculements de bajoyers vers l'intérieur de l'évacuateur de crues sous l'effet de la poussée des terres ou des contournements d'écran d'étanchéité en crête de barrage conduisant à des suintements en radier du coursier.

Ces phénomènes normalement identifiés lors de la surveillance courante du barrage font l'objet d'un suivi (inspection visuelle et auscultation) qui peut amener à la réalisation de travaux de confortement. La réalisation de l'étude de dangers peut alors être l'élément déclencheur sur la nécessité de la réalisation de ces travaux.

1.3.2.2 Obstruction de reniflard de tour de prise

Lors de l'examen technique complet du barrage de Filhet en Ariège, l'inspection de la tour par des cordistes a été mise à profit pour effectuer un passage caméra dans le reniflard permettant l'aération de la galerie sous remblai. Ce reniflard disposait d'un léger coude en partie basse : il s'est avéré que ce dernier était complètement obstrué par plusieurs nids d'oiseaux : après nettoyage du reniflard, une grille a été posée en tête de reniflard (cette mesure ayant été généralisée à l'ensemble des barrages équipées de tour de prise).

1.3.3 Désordres liés aux conduites et à la vantellerie

1.3.3.1 Conduites

Un retour d'expérience intéressant peut être réalisé sur le barrage d'Aussou. Il avait été observé lors de la surveillance courante de l'ouvrage en 2008, l'apparition d'écoulements à proximité de l'exutoire aval de la conduite de vidange. S'en était suivi une inspection caméra de la conduite ayant permis de constater un défaut de raccordement entre deux tronçons de la conduite acier (avec revêtement interne au mortier). Une réparation a été effectuée par un manchon en résine polymérisée en place. En 2024, dans le cadre de travaux de sécurisation de l'ouvrage visant une reprise du dispositif d'évacuation des crues, une nouvelle inspection par caméra de la conduite a été effectuée, permettant de contrôler le bon comportement de cette réparation. L'utilité du dossier du barrage répertoriant les documents d'études et de suivi de travaux est bien illustrée ici pour permettre de contrôler, dans le cadre du diagnostic exhaustif, la bonne tenue dans le temps de la réparation effectuée sur cette conduite.



Figure 10 : Photographies du chemisage de la conduite d'Aussou (2009 – 2024)

Le cas du barrage de Bouillac peut être également cité avec une conduite de vidange sous remblai, prolongée par une seconde conduite (habituellement hors d'eau) longeant le pied aval du barrage jusqu'à son exutoire dans le bassin de dissipation de l'évacuateur de crues. Si des dégradations ponctuelles du revêtement de la conduite sous remblai ont été observées, une dégradation complète du revêtement intérieur de la conduite longeant le pied aval a été mise en évidence lors de l'inspection par caméra effectuée lors de travaux de sécurisation du barrage en 2022-2023. Le choix a été pris de réaliser un chemisage de la conduite avec une chaussette en résine structurante polymérisée en place.

1.3.3.2 Vannes

Les examens exhaustifs sont notamment l'occasion de réaliser des essais de manœuvre des éléments de vannerie, bien que les organes de sécurité fassent déjà l'objet de tests périodiques par les responsables d'ouvrage.

Parmi les exemples récents, le diagnostic exhaustif du barrage de Mondély (Gabre – 09) a mis en exergue l'impossibilité d'ouvrir totalement la vanne de vidange. La vanne en question est une vanne wagon à galets située à l'extrémité aval de la conduite. Le tablier de section 1 000 x 1 000 mm est guidé par quatre galets le long des rails de guidage. Une brimbale supporte le poids de la vanne et permet de la relier à la boîte à cric de manœuvre. La manœuvre est uniquement manuelle.

La vanne et ses organes de manœuvre ont fait l'objet d'une inspection détaillée (état général, graissage, étanchéités, corrosion, mesure d'épaisseur du tablier). Les premiers constats ont été la présence de traces importantes de rouille, avec une altération de la matière par endroits ainsi que le blocage d'un des galets. Les rails de guidage présentaient également des traces de corrosion, en particulier au niveau des plats métalliques soudés dans chaque rail. Le cordon de soudure n'étant pas continu, la corrosion s'est développée entre chaque plat et le rail de guidage, provoquant des gonflements du matériau. Lors de la manœuvre d'ouverture de la vanne de vidange, ces gonflements ont empêché de lever la vanne. En revanche, la vanne a pu être refermée complètement.

Suite à ce constat, des travaux de réfection d'urgence ont été réalisés (remise en état de la vanne et des éléments de guidage). Ce retour d'expérience montre l'intérêt des essais d'ouverture complète des vannes de vidange.



Figure 11 : Vanne de vidange le jour de l'examen exhaustif (29/11/21)



Figure 12 : Rail de guidage et plat soudés avec soudure discontinue

1.3.4 Désordres identifiés au niveau des dispositifs de drainage

Bien que la surveillance courante et les mesures d'auscultation permettent de repérer d'éventuels désordres ou changements de comportement au niveau des collecteurs de drainage, l'inspection par caméra apporte des compléments nécessaires pour la compréhension du comportement de l'ouvrage. Ces opérations d'inspection caméra sont précédées par un hydrocurage.

L'un des principaux désordres observés concerne les exutoires des drains qui, en raison des tassements liés à l'ouvrage, ou en raison du passage des engins de fauchage, sont en contre-pente. Lorsque le phénomène n'est pas visible à l'œil nu, l'introduction d'un chariot caméra équipé d'un dispositif de mesure de la pente permet de vérifier cet aspect et d'engager si nécessaire les travaux de réaménagement nécessaires.

Les autres désordres qui apparaissent régulièrement sont des phénomènes de cisaillement ou d'écrasement des drains. Lorsque ces phénomènes sont trop importants, il n'est alors pas possible de poursuivre l'inspection au-delà de la zone de cisaillement, ce qui limite la longueur inspectée.

1.4 Elaboration des programmes d'investigations en regard des études préalables aux études de dangers

Le diagnostic exhaustif des barrages doit être aussi réfléchi en vue des études spécifiques à réaliser en préalable des études de dangers (étude de stabilité de barrage en particulier) et permettant d'alimenter celle-ci, avec une attention particulière en ce qui concerne le risque d'érosion interne. En effet, un travail important a été engagé par la profession sur ce sujet (projet ERINOH, groupe de travail CFBR ...) avec une évolution et un partage des méthodes pour analyser les risques d'érosion. Elles reposent sur des intrants spécifiques qui ne sont pas forcément disponibles dans les dossiers d'ouvrage. Un bilan des données géotechniques disponibles est indispensable, avec le recul suffisant, pour juger de la fiabilité des données disponibles.

Ainsi de plus en plus régulièrement, des prélèvements sont effectués dans les ouvrages par des sondages carottés afin de prélever des échantillons pour la réalisation d'essais d'identification, de granulométrie et sédimentométrie (indispensables pour vérifier les critères granulométriques de sensibilité des matériaux aux différents phénomènes d'érosion) ainsi que des essais de cisaillement ou triaxiaux. Dans certains contextes, où certains chemins d'érosion pressentis pourraient s'avérer difficiles à justifier (absence de dispositif de filtration), des essais de type HET peuvent être aussi intégrés aux programmes (dans un nombre suffisant pour avoir une certaine représentativité).

CONCLUSION

Au regard des quelques études de dangers déjà réalisées sur des barrages collinaires en remblai du Sud-Ouest de la France (destinés à l'irrigation et au soutien à l'étiage), le fait de généraliser le diagnostic exhaustif des ouvrages à tous les barrages (y compris de classe B) a apporté au plan technique des éléments indispensables à l'établissement d'une analyse de risque pertinente et complète.

Toutefois, il se traduit par une évolution qui impacte significativement le coût de réalisation des études de dangers, ce qui peut poser problème pour des propriétaires de barrage de classe B aux moyens limités (ASA d'irrigants, petites collectivités). Ainsi, l'élaboration de programmes de diagnostics exhaustifs pertinents techniquement, mais restant en adéquation avec les moyens financiers des maîtres d'ouvrages constituera l'un des enjeux essentiels pour les bureaux d'études agréés mobilisés sur ces prestations.

En outre, les délais relativement longs afférents à la réalisation de ces diagnostics (transmission du protocole 6 mois avant la réalisation du diagnostic, délais de consultation des prestataires pour la réalisation des diagnostics) nécessitent également une sensibilisation de ces maîtres d'ouvrage qui devront anticiper ces études sur plus d'un an en amont des dates butoirs de rendu.

Par ailleurs, compte tenu des diverses contraintes liées aux opérations de diagnostic, il apparaît que les différents examens ne peuvent généralement pas être programmés simultanément, pour des raisons de sécurité ou d'exploitation. De ce fait, l'organisation de ces opérations d'investigation requièrent une anticipation en concertation avec les entreprises spécialisées, les exploitants et les gestionnaires afin de sécuriser les délais de rendus.

Les différentes contraintes rencontrées lors des opérations de diagnostics conduisent également, dans le cadre de projets de réhabilitation, sécurisation ou de projets neufs, à repenser certains principes de conception, afin d'anticiper les examens futurs.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient l'ensemble des maîtres d'ouvrage et gestionnaires ayant fourni leur accord pour cette publication, à savoir l'IICEOPEG (conseil départemental de l'Ariège) et le Syndicat Mixte d'Aménagement Hydraulique de la Vallée de la Lèze (Ariège).

REFERENCES ET CITATIONS

- [1] Rives & Eaux (janvier 2022) – Mise à jour de l'étude de dangers du barrage de Filhet ;
- [2] Rives & Eaux (novembre 2023) – Étude de dangers du barrage de Mondély ;
- [3] Rives & Eaux (décembre 2023) – Étude de dangers du barrage Puydarrieux ;
- [4] BOVO et FILS (avril 2024) – Rapport d'inspection télévisée de la conduite de vidange du barrage d'Aussoué ;
- [5] Rives & Eaux (en cours) – Étude de dangers du barrage de la Gimone.