



Principes et techniques de confortement et de réparation des digues

B. Beullac, R. Tourment, Y. Boussafir, C. Chevalier, Y. Deniaud, S. Patouillard, Lucile Saussaye

► To cite this version:

B. Beullac, R. Tourment, Y. Boussafir, C. Chevalier, Y. Deniaud, et al.. Principes et techniques de confortement et de réparation des digues. Colloque Dignes 2024, Inrae, Mar 2024, Aix-en-Provence, France. pp.12, 10.5281/zenodo.10630875 . hal-04536043

HAL Id: hal-04536043

<https://hal.science/hal-04536043>

Submitted on 7 Apr 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Principes et techniques de confortement et de réparation des digues

Principles, methods and techniques for reinforcing and repairing flood protection levees

**B. Beullac¹, R. Tourment¹, Y. Boussafir², C. Chevalier², Y. Deniaud³,
S. Patouillard⁴, L. Saussaye⁵**

¹ RECOVER, INRAE, Aix-en-Provence, France, bruno.beullac@inrae.fr

² Université Gustave Eiffel, Marne la Vallée, France, yasmina.boussafir@univ-eiffel.fr

³ Cerema, Plouzané, France, yann.deniaud@cerema.fr

⁴ DREAL Centre Val de Loire, Orléans, France, sebastien.patouillard@developpement-durable.gouv.fr

⁵ Research Team ENDSUM, Cerema, Blois, France, lucile.saussaye@cerema.fr

Résumé

Les digues de protection contre les inondations sont souvent d'anciens ouvrages qui n'ont pas été correctement gérés et entretenus pendant de longues périodes. Dans de nombreux pays, les inondations des dernières décennies ont montré l'importance d'une bonne gestion et bien sûr d'un bon état de ces ouvrages qui sont essentiels à la sécurité des biens et des personnes qu'ils protègent. Après un recensement et une évaluation des patrimoines nationaux suivis de diagnostics des ouvrages, il s'avère que, pour nombre de ces digues, d'importants travaux de réhabilitation sont nécessaires pour assurer la performance et la sûreté de ces ouvrages. Après des crues, des tempêtes, des tremblements de terre ou des accidents, il est souvent nécessaire de réparer les digues existantes. Compte tenu des spécificités des digues de protection contre les inondations, il existe un fort besoin de connaissances et de méthodes sur la conception et la mise en œuvre des travaux des renforcements et des réparations. Le CFBR (Comité Français des Barrages et Réservoirs) traite des questions liées aux digues depuis 2004 et un groupe de travail (GT) du CFBR sur le renforcement et la réparation des digues a été créé en 2014. Son livrable est un rapport substantiel présentant l'approche globale de la réhabilitation, du renforcement et de la réparation des digues existantes, depuis l'évaluation et le diagnostic jusqu'à la conception puis à la mise en œuvre. Il est disponible sur le site web du CFBR en langue française et sera disponible en anglais courant 2023. L'article présentera en introduction une situation générale des ouvrages et systèmes de protection contre les crues en France. Il présente ensuite les principes généraux de conception des réparations ou des renforcements de digues présentés dans la première partie du rapport, ainsi que certaines des techniques spécifiques présentées dans la deuxième partie du rapport. Enfin, l'article présente en conclusion les perspectives de travaux méthodologiques sur ces thèmes : au niveau français la continuation et l'évolution du GT CFBR ainsi qu'au niveau international les objectifs du Comité Technique sur les Dignes de la Société Internationale de Mécanique des Sols et de la Géotechnique (SIMSG).

Mots-clés

digue, confortement, réparation, technique, travaux

Abstract

Flood protection levees are often old structures that have not been properly managed and maintained for long periods of time. In many countries, flood events in recent decades have shown the importance of a proper management. After an assessment of national portfolios, it is found that, for many of these levees, important retrofitting works are necessary to ensure performance and safety of these structures. After flood events, earthquakes or accident, it is often necessary to repair existing levees. Given the specificities of flood protection levees, there is a strong need for guidance on the design and implementation of reinforcement and repair works. CFBR (the French Committee on Dams and Reservoirs) has been addressing levees related issues since 2004 and a CFBR working group (WG) on reinforcement and repair of levees was set up in 2014. Its deliverable is a substantial report presenting the overall approach to reinforcement and repair of existing levees, from assessment and diagnosis to design and then implementation. It is available on CFBR's web site in French language and will be available in English in 2023. Future editions of this document are planned to include additional and innovative solutions. The paper presents as an introduction a general situation of flood protection structures and systems in France. It then presents the general design principles for levee repairs or reinforcements presented in the first part of the report, as well as some of the specific techniques presented in the second part of the report. Then, the article presents in conclusion the perspectives of methodological work on these themes: at the French level the continuation and the evolution of the CFBR WG as well as at the international level the objectives of the Technical Committee on Levees of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE).

Key Words

levee, reinforcement, repair, technic, works

Introduction

En France, mais également en Europe et dans d'autres régions du monde, les digues de protection contre les inondations sont souvent anciennes (parfois plusieurs siècles). Elles ont été modifiées au fil du temps, notamment par des réparations et des rehaussements après les crues majeures. N'étant sollicitées qu'occasionnellement, elles ont également souvent été oubliées par la population et les acteurs des territoires. Les ruptures de digues survenues au cours des trois dernières décennies, qui ont pour certaines entraîné des inondations catastrophiques, ont fait prendre conscience, aux autorités et aux citoyens, de l'importance de la gestion de ces ouvrages et de la nécessité de prévoir des travaux de confortement et de réparation tout au long de leur vie.

Pour mener à bien ces actions, en tenant compte de la législation et du cadre réglementaire en vigueur, la première étape a consisté à rassembler des données sur le patrimoine existant : ouvrages, localisation, zones protégées et enjeux. Le patrimoine français de digues a ainsi été estimé à 9 000 km de digues fluviales et 1 000 km de digues côtières [12]. Ces informations sur les ouvrages ont dû être suffisantes pour permettre une évaluation approfondie de leur nature, de leur sûreté et de leur performance en termes de réduction du risque d'inondation, mais aussi pour évaluer le risque qu'ils représentaient, sur la base d'une analyse rapide de premier niveau, afin de prioriser les actions à mener. La gouvernance des systèmes de protection a dû également être clairement organisée, en termes de rôles, de responsabilités et de financement, en relation avec la réglementation. Enfin, les gestionnaires locaux ont pu mettre en œuvre des actions pour améliorer les ouvrages et lancer des plans d'inspection et d'entretien adéquats. En France, la mise en œuvre d'un tel cadre d'action s'est généralisé dans les territoires depuis le début du 21^{ème} siècle, afin de reprendre en main la gestion des digues de protection contre les inondations.

Des recommandations professionnelles sur les digues ont été progressivement diffusées en France après les inondations de 1993-1994 en Camargue, généralement centrées sur certaines questions (diagnostics, gestion, déversoirs, végétation, analyse des risques...). En termes d'approche globale de toutes les questions relatives aux digues, l'International Levee Handbook¹ [6] est bien connu, diffusé et utilisé. Il a été traduit en français en 2019 [4].

Suite à un colloque technique du Comité français des barrages et réservoirs (CFBR) sur la sécurité des digues en 2004, les termes de référence de l'association ont été mis à jour en 2011 et les digues font depuis officiellement partie de ses préoccupations. Depuis lors, le cas échéant, les recommandations produites par le CFBR sur les barrages incluent également les digues, comme le font notamment les "Recommandations pour la justification de la stabilité des barrages et des digues en remblai" [2].

Des recommandations spécifiques aux digues, pour la conception et la construction de nouveaux ouvrages, et la modernisation ou la réparation d'ouvrages existants, peuvent être adaptées des recommandations existantes sur les barrages. Celles-ci nécessitent toutefois souvent des développements spécifiques, du fait des différences essentielles qui existent entre les barrages et les digues anciennes.

En 2014, la commission exécutive du CFBR a décidé de constituer un groupe de travail spécifique, afin d'élaborer un guide opérationnel des techniques de confortement et de réparation des digues [3], basé sur une synthèse de l'expérience acquise dans les travaux des dernières décennies [9].

¹ "Guide international sur les digues" dans sa version française

Près de 60 professionnels ont contribué à ces travaux, qu'ils soient issus de bureaux d'études, de collectivités gestionnaires de digues, de services de l'État, d'entreprises de construction ou d'organismes de recherche.

Un guide CFBR sur le confortement et la réparation des digues

Le guide CFBR

Le guide réalisé entre 2014 et 2021 par le groupe de travail précité du CFBR présente la démarche globale de confortement et de réparation des digues de protection contre les inondations, allant de l'évaluation à la conception puis à la mise en œuvre. Il s'appuie sur le retour d'expérience de plus de 150 projets.

L'objet de ce document est de présenter les principes généraux et les différentes techniques appliquées à la réparation et au confortement des digues en remblai de protection contre les inondations, principalement fluviales mais aussi maritimes, la conception et la construction étant considérées indépendamment. Certaines des techniques présentées ont été décrites à partir d'études de cas sur des digues à charge permanente (digues de canal ou digues de rivières canalisées). Toutes les techniques présentées peuvent s'appliquer aux digues de canaux ou de rivières canalisées, aux digues fluviales, voire aux digues maritimes, avec des adaptations nécessaires selon les spécificités des sollicitations auxquelles elles sont soumises, et selon leur contexte géotechnique.

Ce document s'adresse principalement aux gestionnaires d'ouvrages et aux bureaux d'études qui interviennent dans la conception et la supervision de travaux sur des digues existantes. Toutefois, toute personne ou organisation intéressée par les questions liées aux digues (services de contrôle de l'État, entrepreneurs en construction, citoyens, étudiants) trouvera des informations intéressantes dans ce document.

Lors de la conception de travaux de confortement ou de réparation de digues, le processus approprié est :

- l'identification, à la suite d'un diagnostic ou d'une analyse des risques, des causes d'endommagement ;
- l'identification des fonctions à améliorer ou restaurer pour réparer ou prévenir les dommages ;
- l'identification et le choix des techniques correspondant à la reconstitution ou l'amélioration de ces fonctions.

Le guide est basé sur ce processus et présente des exemples de techniques associées aux différentes fonctions, présentées dans la section suivante.

Contenu et utilisation du guide

Le rapport du groupe de travail (Figure 1) est constitué d'une première partie générale, semblable à un guide ou un manuel, et une deuxième partie présentant des fiches techniques et des fiches d'étude de cas.

La partie 1 est constituée de deux chapitres introductifs, qui présentent les objectifs et le contenu du document et les principes communs à toutes les techniques de renforcement et de réparation, suivis de cinq chapitres qui présentent les principes liés aux fonctions élémentaires à renforcer ou à restaurer : étanchéité, drainage et filtration, stabilité des pentes, rehaussement de crête, protection contre l'érosion externe.

Ces cinq chapitres abordent les points suivants :

- objectif du type de confortement ou de réparation (fonctions principales, secondaires et induites, problèmes abordés, variantes et techniques alternatives ou complémentaires et défaillances induites potentielles) ;
- conception (collecte de données, caractéristiques attendues, précisions sur le choix de la technique et principes de conception) ;
- exécution des travaux (études et essais préliminaires, précisions sur les travaux eux-mêmes, prise en compte des facteurs environnementaux et de toutes autres contraintes liées notamment aux inondations en phase travaux ou à d'autres travaux) ;
- suivi après la fin des travaux.

Ces chapitres sont complétés par 36 fiches descriptives des techniques de confortement ou de réparation, disponibles dans la partie 2 du rapport. Ces fiches suivent la même structure :

- précisions sur la technique couverte (définitions, fonctions primaires et secondaires) ;
- description de la technique (performances à atteindre, utilisation et variantes) ;
- techniques alternatives possibles ;
- conception (principes, éléments de conception et modèles disponibles) ;
- aspects pratiques (cahier des charges, chantier du projet, matériaux et équipements nécessaires, perturbation, environnement et gestion des travaux).

Cette présentation donne au lecteur une compréhension objective des techniques et doit guider son choix en fonction des particularités de la situation à laquelle il fait face, tout en gardant bien à l'esprit que chaque ouvrage présente ses spécificités propres (fondation, géomorphologie...). Les fiches techniques ont vocation à être générique et adaptables, alors que la mise en œuvre des techniques présentée dans les fiches d'études de cas est généralement plus spécifique. Une combinaison de diverses techniques peut être nécessaire pour traiter pleinement la conception définitive d'un cas donné. Enfin, il est également possible d'introduire une redondance entre les fonctions dont dépend la sûreté de l'ouvrage, en se basant sur la liste des fonctions principales et secondaires associées à chaque technique.

Trois chapitres supplémentaires sont consacrés aux transitions, aux animaux fouisseurs et à la végétation, et à la réparation des brèches. Ces chapitres fournissent des informations générales sur des problèmes spécifiques et la possibilité d'effectuer des travaux de réparation ou de confortement. Il n'y a pas de fiches "techniques" spécifiques associées à ces chapitres mais uniquement des fiches d'études de cas, car ces problèmes nécessitent le plus souvent une combinaison de réhabilitation de plusieurs fonctions et donc l'utilisation de plusieurs techniques.

La préparation des fiches présentant les techniques s'est appuyée sur l'analyse des expériences antérieures, recensées et décrites dans des fiches d'étude de cas. Comme toutes ces fiches ne pouvaient pas être produites avec le même niveau de détail et d'information, le groupe de travail a décidé de présenter à titre d'illustration du document seulement quelques exemples de ces fiches d'études de cas réels de renforcement et de réparation (16 dans le document actuel).

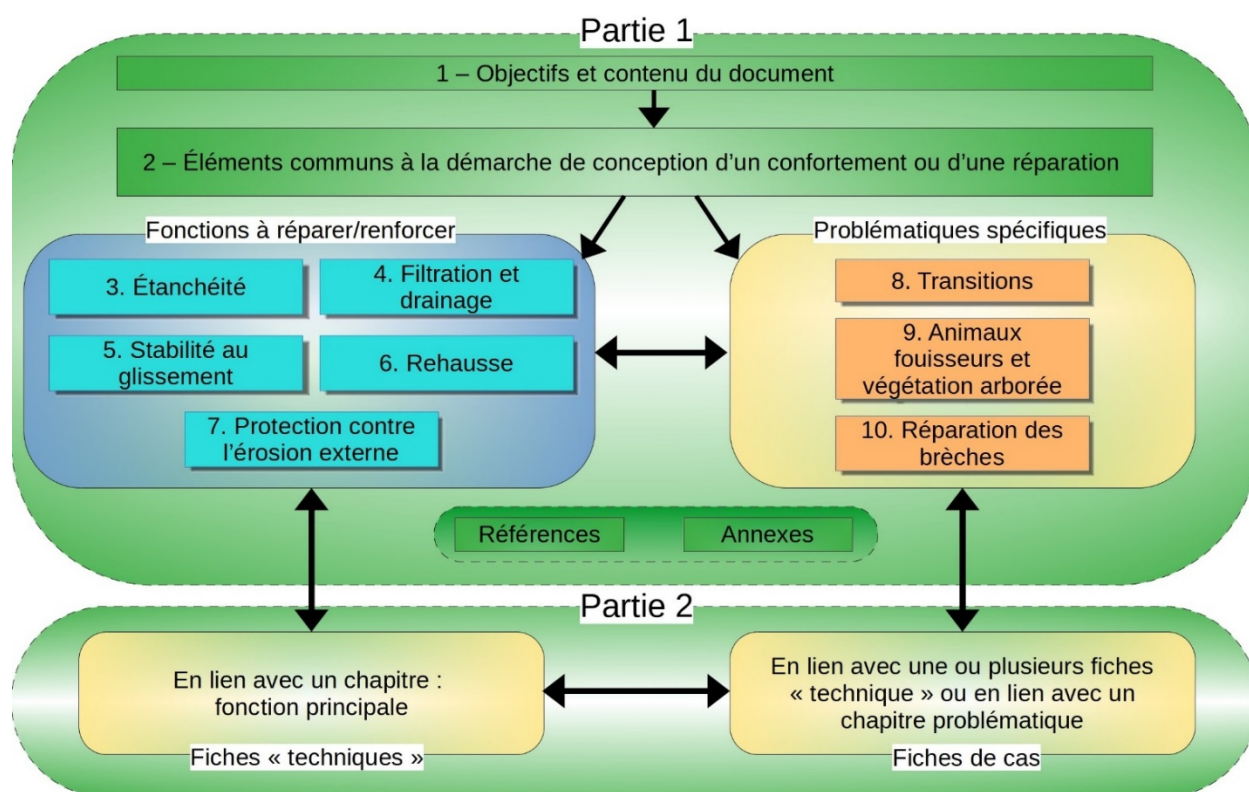


FIGURE 1. Organisation du document et liens entre les différents éléments.

Exemples de fonctions, principes et techniques

Étanchéité

L'étanchéité d'une digue est une fonction essentielle liée à la nature de l'ouvrage et de l'ensemble constitué par la digue et son sol de fondation. C'est une fonction technique de contrôle des infiltrations, souvent associée à une fonction de drainage.

L'objectif direct du renforcement de l'étanchéité d'une digue, réalisé côté eau ou par un dispositif (d'étanchéité) interne à l'ouvrage, est de limiter les infiltrations, donc de réduire les gradients hydrauliques, les pressions interstitielles et le niveau de la ligne de saturation. Il peut également viser à limiter spécifiquement les infiltrations liées à des défauts préexistants (fissures, terriers, vides le long des ouvrages de franchissement) pouvant conduire à des brèches par érosion interne.

La fonction d'étanchéité ne nécessite généralement pas des performances aussi élevées que dans le cas d'un barrage. Il suffit de s'assurer que le temps de saturation du remblai est inférieur au temps de transit de la crue ou que la saturation n'entraîne pas la ruine de l'ouvrage ou l'inondation de la zone protégée durant le passage de la crue.

Le raccordement de l'étanchéité de l'ouvrage sur une couche de faible perméabilité en fondation n'est pas toujours nécessaire, tant qu'elle descend suffisamment bas pour éviter l'érosion interne en réduisant suffisamment les gradients hydrauliques (en allongeant les chemins d'érosion potentiels et les lignes d'écoulement).

La fonction principale d'un élément d'étanchéité est d'assurer l'étanchéité entre le côté eau et le côté zone protégée. Il peut parfois apporter des fonctions supplémentaires (par exemple, un rideau de palplanches peut en plus améliorer la protection contre l'érosion externe et la stabilité de la digue).

L'installation d'un élément d'étanchéité est regroupée en deux familles :

- les techniques d'incorporation de nouveaux composants et/ou de matériaux imperméables associés à un remblai côté eau avec un matériau étanche (ou peu perméable), la mise en place d'une paroi d'étanchéité côté eau (telle qu'une géomembrane, un béton bitumineux, un rideau de palplanches etc.), ou à l'intérieur de l'ouvrage (rideau de palplanches, parois minces, parois moulées...) ;
- les techniques consistant à traiter les matériaux existants par ajout de liants : mélanges in situ ou sols mixés, injection par jet grouting.

Le choix entre l'implantation d'une couche imperméable côté eau ou au cœur du remblai, est souvent fonction des contraintes d'espace, de réalisation des travaux et des problématiques environnementales.

Technique du masque imperméable côté eau en sol peu perméable :

La fonction d'étanchéité peut être assurée par un masque ou un revêtement en matériaux peu perméable, comme l'argile, sur le talus côté eau (Figure 2).

Le renforcement correspond à un parement étanche ou à un reprofilage de talus à l'aide de matériaux peu perméables et des interfaces de qualité avec les autres matériaux ou points singuliers (structures rigides incluses et transitions notamment). Classiquement, la performance recherchée est assurée par des matériaux de perméabilité inférieure à 1.10^{-7} m/s sur une épaisseur associée suffisante pour garantir la fonction au passage de la crue, la combinaison de ces valeurs (perméabilité et épaisseur) pouvant être modulées en fonction de la durée des crues auxquelles la digue se trouve exposée.

La réduction de la conductivité hydraulique a plusieurs objectifs :

- limiter les effets des circulations d'eau dans l'ouvrage ;
- améliorer la stabilité globale de l'ouvrage en réduisant la pénétration d'eau et les écoulements dans le corps de digue.

En combinaison avec des drains côté zone protégée, il limite les écoulements dans le corps de la digue et réduit le risque d'érosion interne résultant de gradients hydrauliques critiques.

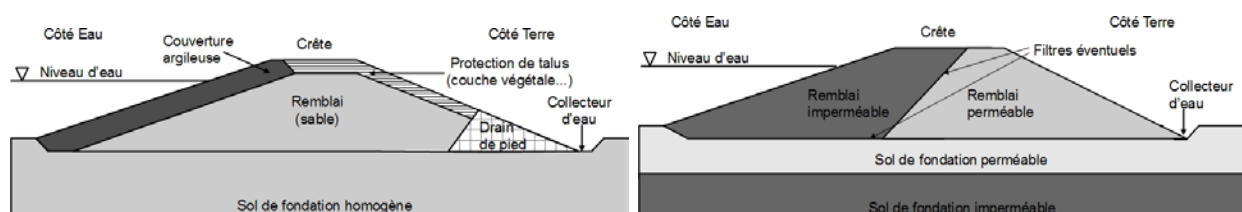


FIGURE 2. Schéma de principe de l'étanchéité côté eau [6, 4].

Technique d'étanchéité par paroi moulée :

Les parois moulées sont des parois étanches verticales visant à empêcher l'écoulement de l'eau. Elles sont réalisées en remplissant une tranchée longitudinale de manière continue (Figure 3). Lors du forage, un coulis ciment-bentonite remplace le sol excavé dans la tranchée. Avec le temps, le coulis durcit tout en restant relativement flexible pour limiter la fissuration.

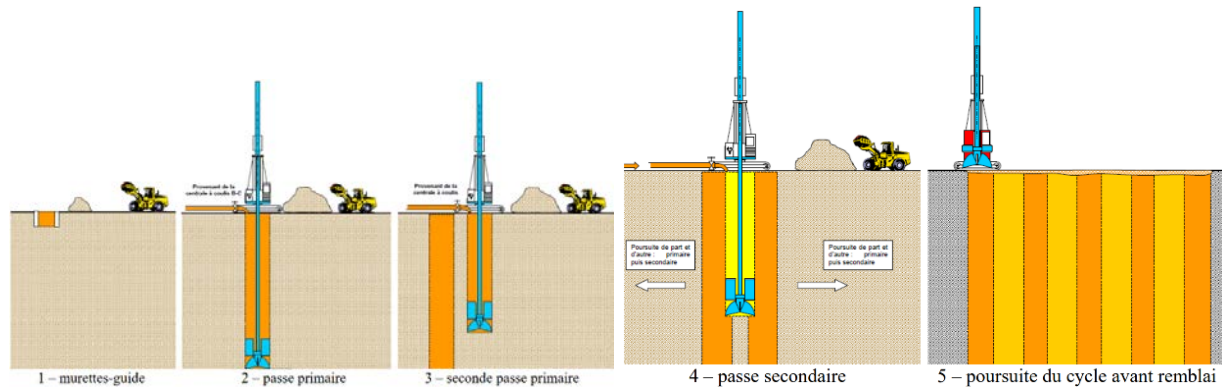


FIGURE 3. Phases de réalisation d'une paroi moulée en coulis (source : Presspali/ICOP).

Les techniques d'étanchéité par parois moulées ont été développées dans le cadre du renforcement des barrages puis adaptées aux digues en cas de défaut d'étanchéité. Les principaux types de défauts correspondent à la présence d'un niveau piézométrique élevé voire de fuites (engendrant une surcharge hydraulique dans le corps de l'ouvrage) au niveau du talus côté zone protégée, et/ou d'un phénomène d'érosion interne dans le pire des cas.

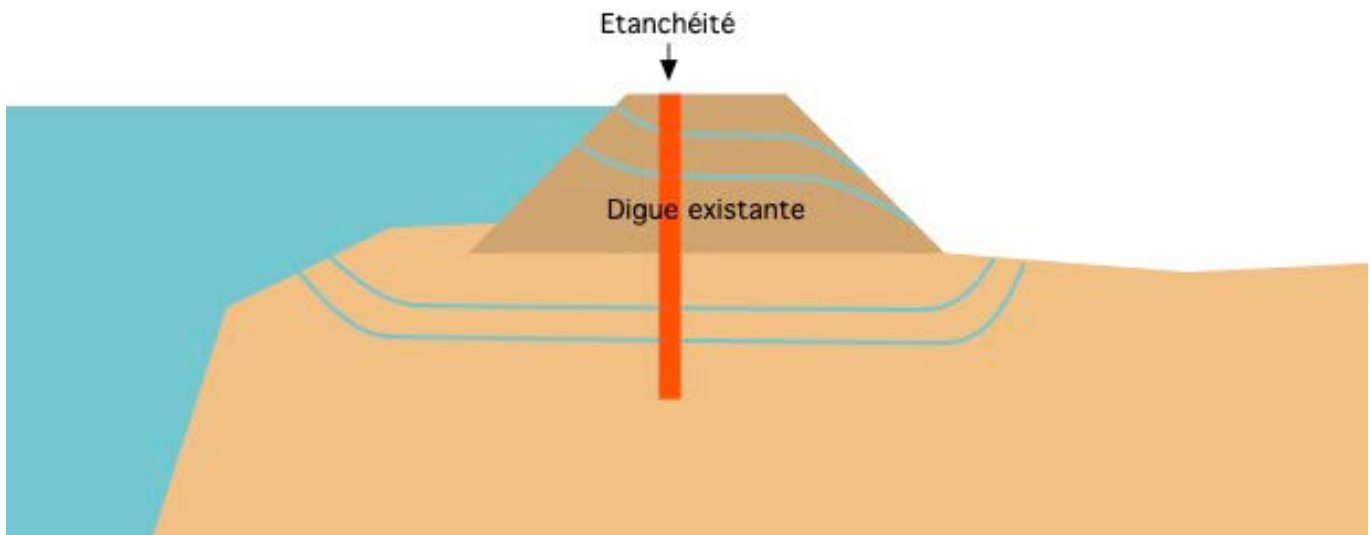


FIGURE 4. Écran d'étanchéité interne d'une digue et de sa fondation. NB : les courbes correspondent aux lignes d'écoulement (et donc les chemins potentiels d'érosion) avant la mise en place des étanchéités (Source : R. Tourment).

Les objectifs de cette paroi sont de réduire la perméabilité de l'ouvrage et par conséquent de limiter les écoulements et les gradients dans la digue et son sol de fondation (Figure 4) en allongeant le chemin hydraulique. Par conséquent, il limite l'apparition de l'érosion interne.

Filtration et drainage

La filtration et le drainage sont des fonctions différentes qui répondent à différents problèmes et mécanismes de détérioration et de défaillance :

- un filtre vise à bloquer l'initiation ou la poursuite des mécanismes d'érosion interne (évacuation et transport de particules par les écoulements d'eau internes) à l'interface entre deux volumes de sols de granulométries différentes ;
- un drain a pour fonction de contrôler les écoulements d'eau internes à la structure et/ou à son sol de fondation, facilitant le transit des eaux d'infiltration vers l'aval sans dommage. Cette maîtrise des écoulements à l'intérieur de l'ouvrage est nécessaire à la conception globale d'un ouvrage stable et résistant à tous les mécanismes de détérioration et de rupture.

Néanmoins, les deux fonctions sont présentées dans le même chapitre car :

- elles sont complémentaires :
 - . Il est souvent nécessaire d'associer un filtre à l'installation d'un drain, du fait de la non compatibilité de granulométrie entre le drain et les matériaux avoisinants ;
 - . Il peut être nécessaire de drainer un ouvrage lors de l'installation d'un filtre ou de profiter de l'installation d'un filtre pour drainer le talus de l'ouvrage côté zone protégée ;
- même si leurs caractéristiques sont différentes, filtres et drains utilisent les mêmes types de matériaux : des sols aux distributions granulométriques définies ou des géosynthétiques. Les épaisseurs et volumes impliqués sont le plus souvent faibles par rapport à la taille de l'ouvrage ;
- traditionnellement, les systèmes de drainage et de filtration sont souvent combinés [8].

La principale fonction des techniques de filtration du sol est de stabiliser les interfaces du sol. Cela évite que les particules du sol soient transportées par les écoulements d'eau (contrôle de l'érosion interne), tout en permettant à l'eau de circuler librement. Pour les quatre mécanismes d'érosion interne désormais connus [7], un filtre pourra empêcher la migration des particules d'un volume de sol soumis à la suffusion, vers la zone où se dirige de l'écoulement. Il empêche également la migration des particules d'un sol à un autre par le mécanisme d'érosion de contact, empêche la migration des particules d'un sol potentiellement sujet à l'érosion régressive et empêche la migration des particules d'un sol soumis à une érosion de conduit.

La fonction de filtration peut donc, selon les cas de figure, être assurée :

- par les matériaux eux-mêmes, s'ils ont une capacité d'auto-filtration ;
- par un filtre géotextile correctement dimensionné ;
- par un filtre granulaire correctement dimensionné ;
- par des combinaisons de ces différentes techniques.

Quatre techniques de renforcement et de réparation basées principalement sur l'installation d'un système de filtration ou de drainage sont décrites dans le chapitre 4 et détaillées dans une fiche spécifique. Chacune de ces techniques répond à un besoin et à des configurations spécifiques:

1/ Dimensionnement d'un géotextile de filtration (Figure 5) : cette fiche vise à définir les caractéristiques d'un géotextile de filtration conformément aux recommandations émises par le Comité Français des Géosynthétiques [5], également reprises dans des normes [1] ;



FIGURE 5. Site de Bou-la-Binette, 2014, détail du géocomposite de drainage - la partie visible (en blanc) est le filtre en contact avec la recharge. Les mini-drains du géosynthétique améliorent également le drainage (Crédit photo DREAL Centre Val de Loire / DETL).

2/ Dimensionnement d'un sol de filtration : cette fiche décrit la conception et le dimensionnement d'un filtre granulaire incluant les critères de filtre ;

3/ Ouvrage de drainage en talus sous recharge peu perméable (Figure 6): cette technique vise à améliorer la stabilité d'un talus lors de la conception d'un remblai avec des matériaux étanches ou semi-perméables. Le drainage de l'interface entre le corps de digue et le matériau de la recharge est dimensionné pour ne pas saturer cette dernière ;

4/ Ouvrage de drainage sans recharge : une interception directe des écoulements dans l'ouvrage par le drain est conçue pour éviter la saturation et les fortes pressions interstitielles dans les parties du corps de digue et du sol de fondation situées côté zone protégée, pour améliorer la stabilité et/ou diminuer le risque d'érosion.

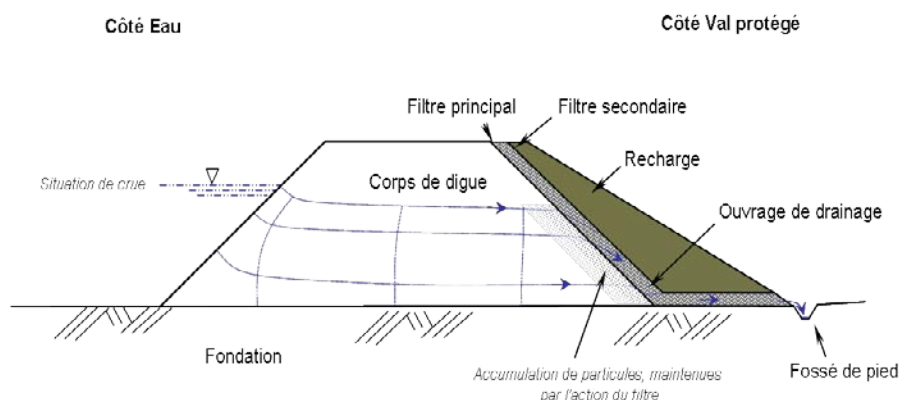


FIGURE 6. Schéma de principe d'un ouvrage de drainage sous recharge imperméable ou semi-imperméable (Source : Yasmina Boussafir, UGE).

Transitions

Il existe de nombreuses interfaces ou zones de contact dans les digues de protection qui posent souvent problème.

Ces interfaces ont été désignées au niveau international comme des transitions, par exemple lors du projet européen FloodProBE et dans l'International Levee Handbook, avec la publication d'une typologie de ces transitions et d'un organigramme montrant les modes de défaillance potentiels associés à chaque type de transition [10,11].

Dans de nombreux cas, les transitions sont mal ou pas du tout connues. En raison de leur histoire, elles ont été construites indépendamment de la digue elle-même, ce qui explique pourquoi elles sont mal conçues ou mal exécutées. Les digues ont également beaucoup plus d'interfaces et de transitions qu'un barrage, en raison de leur longueur importante, ce qui contribue à un risque de rupture plus élevé. De nombreuses transitions impliquent des structures incluses ou croisées, telles que des tuyaux ou d'autres structures rigides.



FIGURE 7. Brèche à la transition entre des tronçons de digue en remblai et en béton armé [6] ;
Brèche dans une digue, au droit d'une conduite traversante sur le Rhône (Source : SNRS).

Les canalisations traversant une digue, compte tenu de leur nombre et de leurs spécificités, représentent une part importante des problèmes de transition rencontrés. Les problèmes de transition concernent souvent l'érosion interne mais parfois aussi, également l'érosion externe ou les instabilités.

Le guide présente la typologie et l'organigramme FloodProBE des différents types de transitions, comment celles-ci peuvent être détectées, et relie les différents types de transitions aux modes de défaillance potentiels associés. Il présente également des conseils pratiques pour la conception de confortements ou réparations de ces zones de transition ; les principes et techniques se trouvent dans les chapitres précédents du guide.

Conclusion

Les digues sont désormais un axe important pour la communauté des ouvrages hydrauliques. Le CFBR a produit un document utile présentant à la fois les principes des travaux de confortement

et de réparation, et un panel de techniques associées. La première partie (150 pages) présente les principes généraux pour traiter les différents types de problèmes (mécanismes de rupture, détériorations et dommages) et restaurer ou améliorer les principales fonctions techniques (étanchéité, filtration, drainage, stabilité...). La deuxième partie (500 pages) présente en détail trente-six techniques, chacune sous la forme d'une fiche au format standard, en lien clair avec la première partie du document. Ce document est disponible gratuitement sur le site internet du CFBR (<https://barrages-cfbr.eu/Recommandations.html>), en français pour le moment, mais sera bientôt disponible en anglais, certainement fin 2023. Ce document sera mis à jour à l'avenir, y compris de nouvelles fiches de données pour les techniques et les études de cas. Le sujet du renforcement et de la réparation des digues existantes est également un sujet d'actualité à l'échelle internationale, le TC201 sur les digues de la SISMIG² ayant lancé un travail à ce sujet, et le groupe de travail sur les digues du Club européen de la CIGB organisant un webinaire sur les réparations d'urgence.

Références

- [1] AFNOR (2017). Norme NFG 38061. Articles à usages industriels - Recommandations pour l'emploi des géotextiles et produits apparentés - Détermination des caractéristiques hydrauliques et mise en œuvre des géotextiles et produits apparentés utilisés dans les systèmes de drainage et de filtration.
- [2] CFBR (2015). *Recommandations pour la justification des barrages et des digues en remblai*. ISBN 979-10-96371-01-3. La Motte Servolex: CFBR.
- [3] CFBR (2021). *Recueil de méthodes et de techniques de confortement et réparation des digues de protection en remblai*. ISBN 979-10-96371-17-4. La Motte Servolex: CFBR
- [4] CEREMA (2019). *Guide international sur les digues*, ISBN 978-2-37180-403-6.
- [5] CFG (2014). *Recommandations pour l'emploi des Géosynthétiques dans les systèmes de Drainage et de Filtration*.
- [6] CIRIA (2013). *The International Levee Handbook*. London: CIRIA.
- [7] ICOLD (2017). Bulletin 164: *Internal erosion processes and Engineering assessment*.
- [8] MADA – Ministère de l'Agriculture – Direction de l'Aménagement (1977). *Techniques des barrages en aménagement rural*. Section III.1.5 « Dispositifs de protection contre les effets de l'eau ».
- [9] Poulain D. *et al.* (2018). *Techniques de réparation des digues* – Commission Internationale des Grands Barrages - Vingt-Sixième Congrès des Grands Barrages, Juillet 2018, Vienne, Autriche.
- [10] Tourment R. *et al.* (2012a). *Reliability of Urban Flood Defences Structure Transitions*. FloodProBE report number WP03-01-12-10. http://www.floodprobe.eu/partner/assets/documents/RTStructuretransitionsComprehensivereport_v4_0_Final.pdf
- [11] Tourment R. *et al.* (2012b). *Levee failures related to structure transitions: Typology, levee performance evaluation and improvements*. 2nd European conference on Flood Risk Management - FLOODrisk2012, Rotterdam.
- [12] Tourment R. *et al.* (2022). Digues de protection contre les inondations. Chapitre 9 in *Barrages, le savoir-faire français*: 146-161. ISBN 979-10- 96371-12-9. La Motte Servolex: CFBR.

² Société Internationale de Mécanique des Sols et de la Géotechnique