



HAL
open science

Études de dangers des digues de classe A de la Loire et de ses affluents - retour d'expérience

J. Maurin, A. Boulay, P. Ferreira, R. Tourment, B. Beullac

► To cite this version:

J. Maurin, A. Boulay, P. Ferreira, R. Tourment, B. Beullac. Études de dangers des digues de classe A de la Loire et de ses affluents - retour d'expérience. Dignes maritimes et fluviales de protection contre les submersions - 2ème colloque national - Dignes2013, Jun 2013, Aix-en-Provence, France. pp.209-216. hal-01118469

HAL Id: hal-01118469

<https://hal.science/hal-01118469>

Submitted on 19 Feb 2015

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.

Études de dangers des digues de classe A de la Loire et de ses affluents – retour d’expérience

Loire river hazard studies - feedback

Jean Maurin¹, Arnaud Boulay¹, Patrick Ferreira², Rémy Tourment³ et Bruno Beullac³

¹DREAL Centre, 5 avenue Buffon, BP 6407 45064 Orléans cedex 2,
e-mail: prenom.nom@developpement-durable.gouv.fr,

²DDT Loiret, 45000 Orléans,
prenom.nom@loiret.gouv.fr

e-mail: prenom.nom@developpement-durable.gouv.fr,

³Irstea, Centre d'Aix en Provence, 3275 route Cézanne, CS 40061,
13182 AIX EN PROVENCE Cedex 5,
e-mail: prenom.nom@irstea.fr

Résumé

La Loire est un fleuve dont les endiguements sont importants aussi bien en hauteur, qu'en longueur et en population protégée. On dénombre une cinquantaine de systèmes d'endiguements sur les bords du fleuve royal, une grande partie construite depuis le moyen âge ayant été décidée par les rois de France, ces digues sont encore aujourd'hui la propriété de l'État Français et sont gérées par les services des préfetures.

Les études de dangers des digues de classe A de la Loire ont été remises pour la fin de l'année 2012 aux services de contrôle. Elles sont au nombre de trois : la levée d'Orléans [1], les levées de Tours [2] et la grande levée de l'Authion [3]. A eux trois, ces systèmes d'endiguements représentent plus de 170 kilomètres de digue et protègent quelques 230 000 habitants.

Ces études ont permis de mettre à plat les connaissances hydrauliques, géotechniques, morphodynamiques et géographiques (situation des enjeux et populations) relatives aux ouvrages. Elles ont permis de connaître les tronçons de levée les plus fragiles avec leur probabilité de rupture. Ainsi elles donnent une vision objective des risques encourus par les populations concernées derrière ces digues.

Elles produisent des analyses qui vont permettre de mettre en place une politique de réduction du risque. Cette politique sera basée sur plusieurs types d'actions :

- sur la gestion (gestion de l'ouvrage – gestion du territoire)
- sur les ouvrages (structurelles – fonctionnelles)
- sur la connaissance (phénomènes - ouvrages et fondations – historique)

Les études débouchent donc sur un programme ambitieux à

cours, moyen et long terme.

Abstract

The Loire river's embankments are as important in height, in assets, in length and as in protected population. There are main levees on the sides of the royal stream, a big part constructed since the aged means having been decided by the kings of France, these levees are steel today the property of the French State and are managed by local state authority.

The hazard studies of the Loire's class A levees have been put back the 2012 December the 31st to control's services. They are three types: the Orleans's levee, the levees of Tours and the big levee of Authion. Faith the three, these systems of embankments represent more than 170 kilometers of levee and protect some 230 000 people.

These studies permitted to put to dish the hydraulic, géotechnics, morphodynamics and geographical (situation of the stakes and populations) knowledges relative to the levees. In addition enable to know the most fragile sections of levees with their failure's property. Therefore they give an objective vision of the risks incurred by the populations concerned behind these levees.

They produce the analyses that are going to allow to implement a policy of reduction in the risk in place. This policy will be based on several mains actions regarding:

- the management (management of the work, management of the territory)
- the structural and functional works
- the knowledge (phenomena - works and foundations, historic)

The studies clear therefore on an ambitious program to course, middle and long term.

Introduction

Les études de dangers répondent à une obligation réglementaire [4] et ont pour objectif (via l'estimation du risque d'inondation par défaillance du système d'endiguement) d'être des outils opérationnels :

- pour déterminer les niveaux de sûreté et de protection de l'ouvrage,
- pour aider à définir et à préciser d'éventuelles évolutions de la surveillance des ouvrages et équipements qui composent la levée, notamment en période de crue,
- pour définir et hiérarchiser les travaux de renforcement et de réparation à programmer
- pour porter à la connaissance des responsables les Plans de Prévention du Risque Inondation.

C'est une étude complète qui fait appel à de nombreuses compétences et comprend :

L'analyse de la digue pour définir sa probabilité de rupture, la définition de scénarios d'inondation suite à rupture avec leur probabilité propre et le croisement de ces scénarios avec la vulnérabilité des enjeux pour définir un indicateur de mise en danger de personnes. Cet indicateur définit la gravité du scénario.

Il est tenu compte également du croisement de la probabilité avec la gravité des scénarios pour évaluer le risque et orienter une étude de réduction du risque qui définit les mesures à prendre en termes de gestion, de travaux ou de connaissance et recherche.

Les trois études de dangers des digues de classe A de la Loire ont été réalisées par la DREAL Centre, avec l'assistance d'Irstea (Unité de recherche Ouvrages Hydrauliques) et du laboratoire régional de Blois pour le compte des directions départementales des territoires du Loiret, d'Indre et Loire et de Maine et Loire. Il s'agit des levées d'Orléans, de Tours et de l'Authion.

Niveaux de protection de sûreté

Définitions

Le **niveau de sûreté** se définit comme le niveau d'eau dans le cours d'eau au-dessus duquel la probabilité de rupture de l'ouvrage n'est plus considérée comme négligeable.

Le **niveau de protection** est le niveau d'eau dans le cours d'eau au-dessus duquel la zone protégée commence à être inondée sans rupture préalable de la digue, par débordement au-dessus du sommet de la digue ou par un déversoir.

La notion de sûreté renvoie au risque de rupture, la notion de protection à la surverse. Dans un système d'endiguement parfaitement fiable, le niveau de sûreté est supérieur ou égal

au niveau de protection. Cela revient à dire que la rupture avant surverse est improbable. Le risque de rupture n'apparaît que lorsque la lame d'eau débordante atteint une hauteur significative ou, dans le cas de digue équipée d'un déversoir, que ce dernier a atteint sa capacité maximale.

Dans le cas des digues de Loire, le risque de rupture avant surverse ou avant fonctionnement des déversoirs ne pouvant être considéré comme négligeable, le niveau de sûreté est généralement inférieur au niveau de protection. Pour ne pas entretenir l'illusion d'une protection efficace pour un tel niveau d'eau dans le fleuve, on parlera alors plutôt de niveau de **protection apparent**. Le niveau de protection REEL sera en fait dans ce cas assimilable au niveau de sûreté, inférieur à la crête de la digue.

Résultats des études de dangers de la levée d'Orléans

La levée d'Orléans longue de 43 500 mètres, protège une population de 63 000 habitants.

On considère que le débit de 5 400 m³/s représentait l'objectif de protection du système d'endiguement de la levée d'Orléans dans sa configuration du XIX^e siècle, après la réalisation du programme Comoy et du déversoir de Jargeau.

Aujourd'hui le niveau lié à la crue de probabilité 1/200 est considéré comme le niveau de protection apparent du système d'endiguement de la levée d'Orléans. Il correspond à un débit de 6 100 m³/s et une hauteur à l'échelle historique du pont George V de 5,77 mètres à Orléans.

L'augmentation du débit de protection apparent d'aujourd'hui par rapport à celui de la fin du XIX^e siècle est due à l'enfoncement du lit de la Loire.

Le niveau de sûreté de la levée d'Orléans est atteint pour une crue de 4 600 m³/s. Ce débit correspond à la crue modélisée de probabilité 1/70 et à une hauteur d'eau à l'échelle d'Orléans 4,60 m.

Résultats des études de dangers des levées de Tours

Le val de Tours est situé sur une presqu'île de 25 kilomètres de long entre la Loire au Nord et la Cher au Sud, sur une largeur de deux à trois kilomètres. L'endiguement qui protège 135 000 personnes, long au total de 60 160 mètres est composé de trois levées :

- La levée de Loire (28 800 mètres) et haute au maximum de 8,15 mètres.
- La levée du Cher (26 900 mètres) et haute au maximum de plus de 8,00 mètres.
- La levée du Canal (1 960 mètres) qui sépare le val à l'amont de la ville de Tours à l'aval immédiat de l'autoroute A10 à l'emplacement d'un ancien canal. Sa hauteur maximale dépasse les 7,00 mètres.

Le niveau lié à la crue probabilité 1/500 est considéré comme

le niveau de protection apparent du système d'endiguement côté Loire. Il correspond à un débit à Tours de 6 600 m³/s et une hauteur à l'échelle du pont Mirabeau de 8,64 mètres

Le niveau lié à la crue débit 1 500 m³/s est considéré comme le niveau de protection apparent du système d'endiguement côté Cher. Il correspond à un débit à Tours de 1 500 m³/s et une hauteur à l'échelle du pont Saint Sauveur de 6,83 mètres. Ce niveau de protection peut être considéré comme équivalent à celui de la Loire soit d'une probabilité de 1/500. l'hydrologie du Cher est encore mal connue pour des crues aussi importantes.

Le niveau de sûreté de la levée de Loire du val de Tours est atteint pour une crue de 4 700 m³/s. Ce débit correspond à la crue modélisée de probabilité 1/70 et à une hauteur d'eau à l'échelle de Tours de 7,09 mètres au pont Mirabeau.

Le niveau actuel retenu comme niveau de sûreté étant de 7,30 mètres à l'échelle du pont Mirabeau, il est donc proposé d'abaisser le niveau de sûreté de la levée de Loire.

Le niveau de sûreté de la levée du Cher du val de Tours est atteint pour une crue de 1 000 m³/s. Ce débit correspond à la crue modélisée de probabilité 1/50 et correspond à une hauteur d'eau à l'échelle de Tours de 6,83 m au pont Saint Sauveur.

Résultats des études de dangers de la levée d'Authion

La grande levée de l'Authion longue de 80 kilomètres, protège une population de 63 000 habitants.

Le niveau lié à la crue de probabilité 1/100 est considéré comme le niveau de protection apparent du système d'endiguement de la levée de l'Authion. Il correspond à un débit de 6 620 m³/s et une cote de 6,31 mètres à l'échelle de Saumur.

Le niveau de sûreté de la levée de l'Authion est atteint pour une crue de 5 800 m³/s et une cote de 5,64 mètres à l'échelle de Saumur. Ce débit correspond à la crue modélisée de probabilité 1/50.

Les scénarios modélisés

Méthodologie utilisée

Le diagnostic de chaque levée et le modèle d'aléas de rupture permettent de mettre en évidence les tronçons d'ouvrage les plus faibles du point de vue de leur probabilité de rupture. A partir de ces constats, des scénarios d'inondation du val sont choisis, modélisés et traduits en termes d'intensité d'aléa d'inondation (5 classes d'aléa) en fonction des grandeurs caractéristiques de l'inondation (hauteur d'eau, vitesse de l'eau). La vulnérabilité des différents types d'enjeux composant la zone protégée est parallèlement définie en termes de gravité des effets associés à chaque classe d'intensité d'aléa. En croisant la vulnérabilité des enjeux et

l'intensité des aléas inondation (en utilisant des systèmes d'informations géographiques (SIG)) on obtient la gravité de chaque scénario d'inondation en termes de population inondée et de nombre de personnes potentiellement mises en dangers. Ces chiffres permettent de classer la gravité du scénario. Le croisement de la probabilité du scénario et de sa gravité permet d'évaluer le risque qu'il représente (sa criticité).

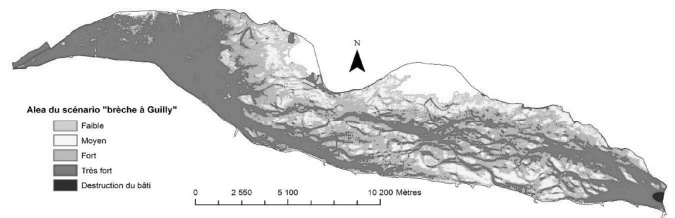


FIGURE 1 : - CARTE DE GRAVITE DU SCENARIO DE BRECHE A GUILLY MODELISE SUR LA LEVEE D'ORLEANS

Études de dangers de la levée d'Orléans

Pour la levée d'Orléans 8 scénarios ont été modélisés. Le plus pénalisant est une brèche à l'amont du val. Ce scénario a une probabilité d'intervenir de 0,0087 chaque année et inonderait 54 000 habitants et mettrait en dangers 11 000 personnes.

Ce scénario est moyennement probable et d'une gravité désastreuse, il constitue un risque intolérable.

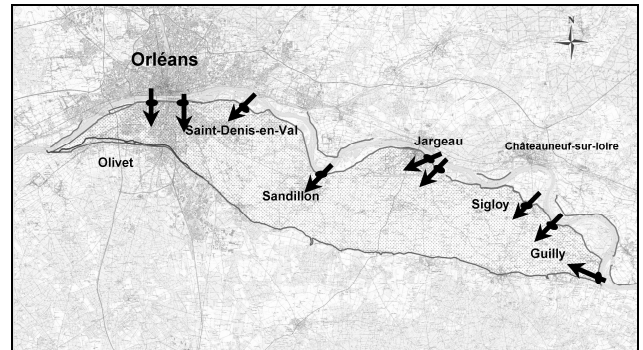


FIGURE 2 : - CARTE DES POSITIONS DES BRECHES DES SCENARIOS MODELISES SUR LA LEVEE D'ORLEANS

Études de dangers des levées de Tours

Pour les levées de Tours 8 scénarios ont été modélisés. Le plus pénalisant est une brèche à l'amont de la levée de la Loire.

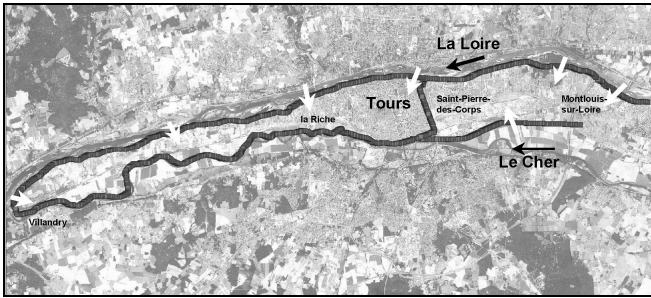


FIGURE 3 : - CARTE DES POSITIONS DES BRECHES DES SCENARIOS MODELISES SUR LES LEVEES DE TOURS

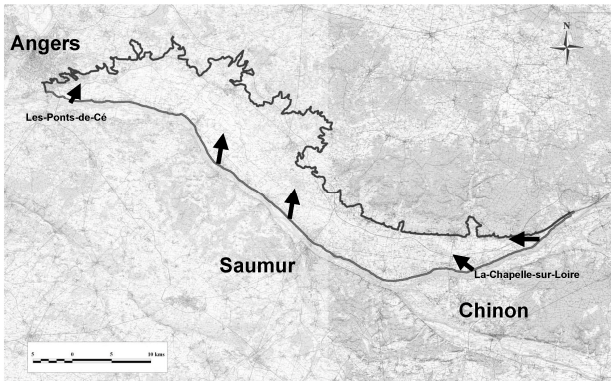


FIGURE 4 : - CARTE DES POSITIONS DES BRECHES DES SCENARIOS MODELISES SUR LA LEVEE DE L'AUTHION

Ce scénario a une probabilité d'intervenir de 0,0116 chaque année et inonderait 120 000 habitants et mettrait en dangers 14 000 personnes.

Ce scénario est probable et d'une gravité désastreuse, il constitue un risque intolérable.

Études de dangers de la levée de l'Authion

Pour la levée de l'Authion 7 scénarios sur 5 sites ont été modélisés. Le plus pénalisant est une brèche à l'amont de la levée. Ce scénario a une probabilité d'intervenir de 0,009 chaque année et inonderait 40 000 habitants et mettrait en dangers 8 000 personnes.

Ce scénario est moyennement probable et d'une gravité catastrophique, il constitue un risque intolérable.

Réduction du risque

Par la gestion de l'ouvrage

Certaines levées sont gérées par plusieurs structures il est proposé d'unifier ou du moins d'avoir une coopération forte entre les gestionnaires.

Dans le cadre des **consignes écrites** la **surveillance en crue** doit faire l'objet d'un plan de surveillance de levée (PSL) à réorganiser autour de plusieurs principes :

- Intégration des enjeux, de la notion de niveau de sûreté et des probabilités de rupture issues des études de dangers ;
- Activation du PSL, différencié par val en fonction du niveau de sûreté et de la mise charge annoncée des digues, en maintenant les deux niveaux d'activation précédents ;
- Détermination d'un cadre commun de plan à l'échelle de la Loire moyenne ;
- Meilleure articulation du dispositif avec le système de prévision des crues et le dispositif de gestion de crise ;
- Définition précise des moyens humains nécessaires et mobilisables ainsi que de la procédure de mobilisation ;
- Élaboration d'un dispositif de formation adapté aux rôles des intervenants et dispensé auprès de tous les agents mobilisés ou mobilisables ;
- Établissement d'un plan d'équipement faisant notamment appel à la couverture radio-numérique ;
- Consolidation du dispositif de surveillance par la mise en œuvre ou la recherche de modes alternatifs automatisés et réduisant la nécessité de présence humaine.

L'**entretien** fait partie du socle des actions indispensables pour la réduction du risque inscrit dans le Plan Loire. Cette action comprend :

- Le traitement de la végétation herbacée et la suppression de toute végétation ligneuse ;
- la création et l'entretien des chemins de service ;
- la gestion des animaux fouisseurs (en préventif en dissuadant leur présence, et en curatif en réparant les dégâts en urgence dans l'attente d'une réparation lourde si nécessaire) ;
- l'entretien des vannes et des clapets.

L'**entretien du lit de la Loire** a lui aussi été inscrit dans le plan Loire, dès son origine, comme une action indispensable du socle de la stratégie pour la réduction du risque inondation. Depuis 1994, des opérations d'entretien et de restauration du lit de la Loire ont été menées régulièrement. On constate néanmoins que le lit vif s'est refermé et a rétréci durant cette même période en moyenne 11% de sa largeur avec un maximum de 50% au niveau de la levée de Tours.

- L'entretien du lit de la Loire doit donc être poursuivi et intensifié pour rattraper le retard pris.
- Des actions de restauration spécifiques au droit des sites identifiés dans cette étude doivent être conduites dans le cadre du plan de restauration du lit de la Loire.

La **gestion de l'usage des levées** doit mieux respecter les

ouvrages. Les autorisations d'utilisation des levées doivent faire l'objet d'un encadrement très strict. Notamment les canalisations ne seront autorisées que si le pétitionnaire prouve qu'il n'a pas d'autre solution et qu'il fait appel à un maître d'œuvre agréé pour le projet, qui suivra la réalisation des travaux. Celui-ci s'engagera sur le non abaissement du niveau de sûreté de la levée par rapport au niveau de protection.

Les **actions en cas d'urgence** en crue doivent faire l'objet d'un plan d'action et de sa procédure d'activation en lien avec les procédures de gestion de crise.

Le **dossier d'ouvrage** a une très grande importance pour la pérennité des informations contenues. Il importe que soient versées à la suite toutes les informations concernant la levée dans la base de données « **SIRS Digues** ».

L'étude montre qu'il est nécessaire de réaliser des **exercices** pour évaluer régulièrement et améliorer les différents plans et procédures.

Par la gestion du territoire

Le niveau de sûreté doit servir de base à la mesure de **mise en sécurité** ou **d'évacuation des populations** potentiellement mises en danger.

Les études de dangers seront **portées à la connaissance** des collectivités et des services qui ont à mettre en œuvre un Plan Communal de Sauvegarde (PCS), un Plan de prévention des risques inondations ou des services de prévision des crues en vue de la révision du règlement d'information sur les crues (RIC).

Par des travaux structurels et fonctionnels

Les **principaux travaux structurels** qui portent sur l'intégrité physique de la digue et visent à modifier le niveau de sûreté sont les suivants :

- Finir de renforcer le corps de la digue pour limiter le risque d'érosion interne et de glissement de talus
- Réaliser des drains filtrants en partie basse côté val
- Traiter les canalisations
- Supprimer la végétation ligneuse sur la levée
- Traiter les zones affectées par la végétation ancienne ou existante
- Traiter les zones attaquées par les animaux fouisseurs
- Identifier et traiter les zones karstiques
- Résorber les constructions encastées dans la levée
- Terminer les renforcements des pieds de levée
- Construire des chemins de service

Une fois que levées les auront été renforcées et que le niveau de sûreté aura atteint le niveau de protection apparent il sera

nécessaire de traiter les risques de surverse. Une étude de définition des mesures à mettre en œuvre pour traiter les surverses doit être menée en concertation avec les collectivités locales. Une fois les choix politiques acceptés les travaux devront être menés jusqu'à la sécurisation du système d'endiguement.

Par la connaissance des phénomènes

De nombreuses lacunes demeurent pour permettre de mieux apprécier les aléas de défaillance des digues ou leurs conséquences.

Les connaissances relatives à l'**hydrologie de la Loire et des ses affluents** reste encore à être améliorée, notamment en ce qui concerne les crues antérieures au XIX^e siècle.

La connaissance des **phénomènes d'embâcles et de débâcles** de glace doit aussi être améliorée.

Une surveillance de l'évolution de l'hydrologie de la Loire et des ses affluents doit être mise en place pour anticiper les conséquences du **changement climatique**.

La **formation des brèches** reste un phénomène mal connu, les calculs hydrauliques actuels ne permettent pas de retrouver les constats faits sur les brèches du XIX^e siècle. La recherche doit s'intéresser à ce phénomène [5] et permettre de mieux prédéterminer les dimensions et la dynamique d'une brèche dans une configuration hydraulique et géotechnique donnée.

Les **phénomènes d'érosion interne** sont déterminants pour la résistance des levées la recherche doit encore progresser pour permettre de mieux définir le risque, entre autre en ce qui concerne les phénomènes d'érosion de contact et de suffusion, l'érosion concentrée n'étant que la phase finale de l'érosion interne avant effondrement et brèche.

Les **phénomènes karstiques** sous les levées font peser une menace encore très mal caractérisée ; là aussi la recherche doit pouvoir apporter des éléments pour analyser le risque et traiter les situations dangereuses.

Enfin, la **méthode d'analyse du risque** mérite d'être améliorée. Les actions à entreprendre sont les suivantes:

- Evaluer et éventuellement améliorer la méthodologie de l'AMDE des systèmes d'endiguement, développée au cours de la réalisation des présentes études de dangers.
- Evaluer et améliorer la prise en compte des barrières de sécurité et des défauts dans l'analyse de risque.
- Evaluer et améliorer les modèles de calcul de la probabilité de rupture de digue.

Par la connaissance des ouvrages

Il est nécessaire de poursuivre l'exploration des **archives historiques**.

La connaissance des ouvrages et de leurs fondations doit encore être améliorée. Les actions sont les suivantes :

- Evaluer et améliorer la connaissance géotechnique des levées.
- Rechercher systématiquement les canalisations incluses dans les levées.
- Disposer d'un levé topographique précis et dense du type « Flimap » pour connaître les évolutions et les tassements de la digue.
- Connaître les fondations et notamment les horizons calcaires karstiques.

Il est également nécessaire de poursuivre la caractérisation des digues et de leur fondation dans les secteurs mal connus, compte tenu d'hétérogénéités.

Conclusion

Les études de dangers des digues de classe A de la Loire ont permis de mettre en évidence la fragilité de ces ouvrages. Leur niveau de sûreté est alors apparu bien inférieur à celui de protection ce dernier n'étant donc qu'apparent.

Les enjeux humains mis en cause dans les scénarios modélisés sont d'une grande ampleur et l'aléa de rupture est d'une probabilité relativement forte. Les ruptures des levées de classe A de la Loire constituent un risque intolérable.

Les études de dangers proposent des mesures de réduction de ce risque par des mesures de gestion, de travaux structurels et fonctionnels et par la poursuite de recherches sur les levées de la Loire et sur les digues en général.

Les études de dangers ne constituent pas une fin en soi, mais bien une première étape pour permettre d'améliorer, sur des

bases étayées, la gestion et la connaissance de ces ouvrages.

Les travaux à entreprendre sont évalués pour la levée d'Orléans à 25 M€ pour que le niveau de sûreté atteigne le niveau de protection et ensuite 35 M€ pour qu'il le dépasse. Pour les autres levées le chiffrage n'a pas été réalisé lors de l'écriture de cet article. Néanmoins pour les levées de Tours le chiffre de 200 M€ a déjà été avancé.

La mise en œuvre de ces mesures devra être étagée dans le temps certaines devront être réalisées à cours terme notamment celle concernant la gestion d'autres nécessite une concertation avec les pouvoirs locaux et ne pourront se faire qu'à long terme.

Remerciements

Nous tenons à transmettre tous nos remerciements à toutes les personnes qui ont permis la réalisation des études de dangers des digues de classe A de la Loire et à nos anciens prédécesseurs qui ont su nous faire parvenir la mémoire des événements du passé.

Références

- [1] DREAL Centre (2012). *Etude de dangers de la levée d'Orléans.*
- [2] DREAL Centre (2012). *Etude de dangers des levées de Tours.*
- [3] DREAL Centre (2012). *Etude de dangers de la levée de l'Authion.*
- [4] Décret n°2007-1735 du 11 décembre 2007 *sur le contrôle des ouvrages hydrauliques*
- [5] Maurin J., Boulay A., Piney S., Gaullier M., Bérenger N., Barraud D., (2013). CFBR - *Études de dangers des digues de classe A de la Loire et de ses affluents - études des brèches historiques.*