

ÉTUDE DE DANGERS DU SYSTEME DE PROTECTION DU VAL DE BOU CONTRE LES INONDATIONS DE LA LOIRE

Rapport d'étude

0. RESUMÉ NON TECHNIQUE DE L'ÉTUDE DE DANGERS

0.1 CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ÉTUDE DE DANGERS

L'étude de dangers du système d'endiguement du val de Bou a été réalisée par BRLingénierie. Les études de dangers sont des études réglementaires qui s'imposent à tous les propriétaires de digues fluviales ou maritimes protégeant plus de 10 personnes (article R.214-115 du code de l'environnement). Ces études doivent être réalisées d'ici à fin 2014.

Une étude de dangers a pour objectifs :

- De préciser le rôle et le fonctionnement du système de digues
- D'analyser les phénomènes physiques susceptibles de provoquer ou de favoriser une rupture de ces digues
- De quantifier en termes de probabilité les risques de défaillance des digues correspondants
- D'analyser les conséquences d'une éventuelle rupture des digues en termes de risques pour les biens et les personnes
- De proposer des mesures de réduction des risques : mesures structurelles (travaux de renforcement) mais aussi mesures de gestion et mesures fonctionnelles

Le système d'endiguement du val de Bou s'étend sur environ 10,3 km de la rive droite de la Loire, sur les communes de Bou, Mardié, Chécy et Combleux.

La zone protégée par le système d'endiguement du val de Bou, appelée communément val de Bou, abrite environ 2663 personnes.

De par la population qu'il protège et sa hauteur, le système d'endiguement du val de Bou a été classé par arrêté préfectoral en tant que digue de classe B¹.

0.2 COMPOSITION DU SYSTÈME D'ENDIGUEMENT DU VAL DE BOU

Le système d'endiguement du val de Bou est ouvert en aval au niveau de l'écluse de la Patache et du déversoir du Cens situé quelques centaines de mètres en amont.

Il est constitué:

- De la levée de Bou, propriété de l'Etat au titre du Domaine Public Fluvial et gérée, par délégation du Préfet du Loiret, par la Direction Départementale des Territoires du Loiret (DDT 45) ; ce tronçon représente un linéaire d'environ 7 km et sa hauteur moyenne est de l'ordre de 4,1 m
- De la digue du canal d'Orléans, propriété de l'Etat, concédée au Conseil Général du Loiret et gérée par délégation par le syndicat mixte du canal d'Orléans ; ce tronçon représente un linéaire d'environ 3,3 km et sa hauteur moyenne est de l'ordre de 2,7 m

¹ Une digue est considérée de classe B si sa hauteur par rapport au terrain naturel côté zone protégée dépasse 1 m et si la population qu'elle protège est comprise entre 1000 et 50000 habitants.

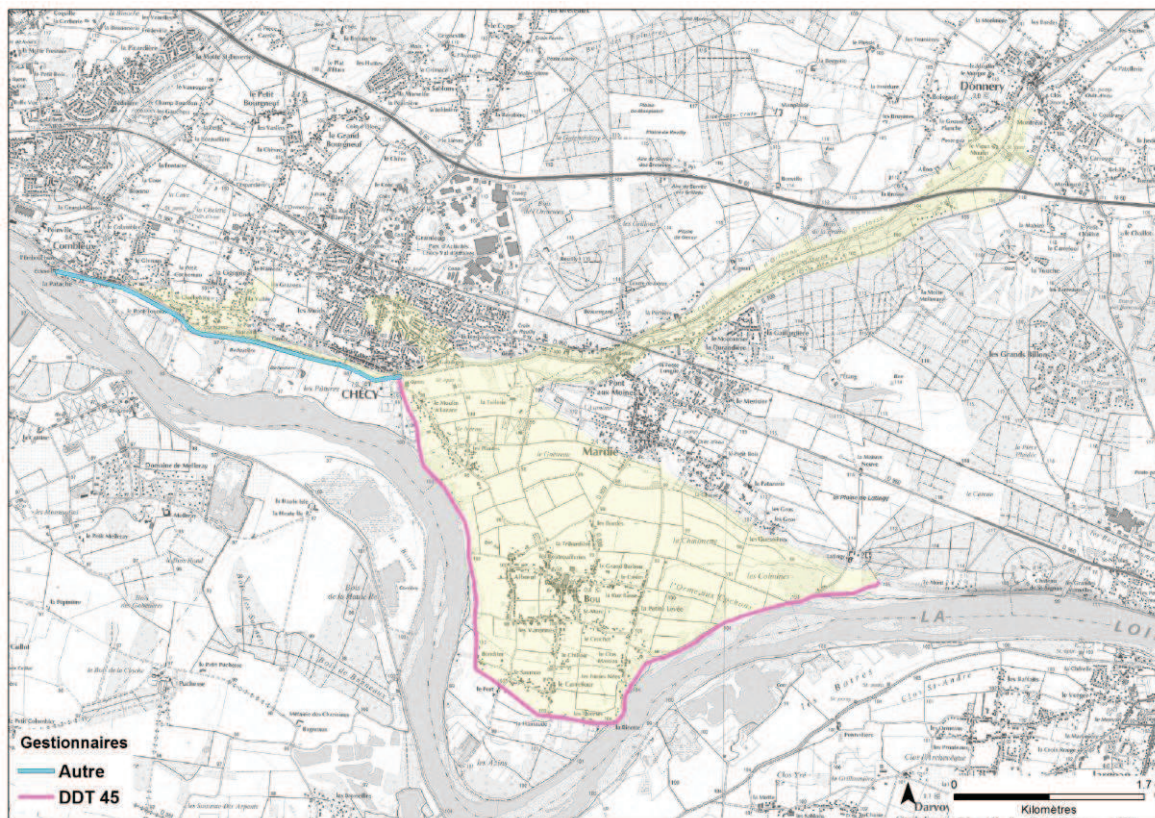


Figure 1 : gestionnaires du système d'endiguement du val de Bou

Comme toutes les levées de la Loire, la levée de Bou est un ouvrage ancien qui a été construit et reconstruit par élévations et élargissements successifs au fil des siècles et des crues. Il s'agit sur la totalité du linéaire d'un ouvrage en terre, non résistant à la surverse.

Les différentes visites techniques approfondies ainsi que les éléments du dossier d'ouvrage ont permis d'identifier un certain nombre d'anomalies susceptibles de fragiliser l'ouvrage en cas de crue :

- Canalisations incluses dans la levée,
- Bâtiments encastrés dans la digue,
- Végétation sur et aux abords de la levée,
- Terriers d'animaux fouisseurs,
- Banquette côté val et réseau d'assainissement pluvial associé,
- Obstacles sur les talus de digue.

En l'espèce, la levée de Bou est globalement dans un état satisfaisant même si la présence ponctuelle de végétation, terriers, maisons encastrées et/ou karst est à même de constituer autant de points de fragilité potentiels de l'ouvrage.

0.3 DANGERS LIÉS AU SYSTÈME D'ENDIGUEMENT DU VAL DE BOU

Les dangers liés au système d'endiguement du val de Bou résultent principalement de l'irruption accidentelle d'eau à l'intérieur du val lors d'une crue de la Loire suite à l'ouverture partielle ou totale d'une brèche sur un tronçon de la levée.

0.4 NIVEAU DE PROTECTION ET NIVEAU DE SÛRETÉ DU SYSTÈME D'ENDIGUEMENT DU VAL DE BOU

Le niveau de protection correspond au niveau d'eau en Loire au-delà duquel la zone protégée commence à être inondée sans rupture préalable de la digue suite au débordement au-dessus de la crête de digue. Le niveau de protection correspond donc à l'occurrence de la crue de premières surverses.

Le niveau de sûreté se définit comme le niveau d'eau en Loire au-delà duquel la probabilité de rupture de la digue ne peut plus être considérée comme négligeable.

La notion de « niveau de sûreté » renvoie au risque de rupture alors que celle de « niveau de protection » est associée à la surverse. Un système d'endiguement est qualifié de parfaitement fiable si son niveau de sûreté est supérieur à son niveau de protection, c'est-à-dire que la rupture avant surverse est improbable.

Les digues de la Loire ne pouvant en général être considérées comme parfaitement fiables du fait de leur conception et des désordres les affectant, on parlera de « niveau de protection apparent » plutôt que de « niveau de protection » afin de ne pas entretenir l'illusion d'une protection réelle jusqu'à l'occurrence de crue en question.

0.4.1 Objectif de protection historique

Comme indiqué précédemment, les levées de la Loire ont été érigées de manière progressive et réhaussées suite à chaque crue majeure ayant provoqué leur surverse, dans l'objectif illusoire de les rendre insubmersibles.

Les dernières réhausses faisant suite aux crues de 1846, 1856 et 1866, on peut estimer que le niveau de protection recherché alors correspondait aux crues en question, soit un niveau en Loire correspondant à une période de retour de l'ordre de 200 ans.

0.4.2 Niveau de protection apparent

Les niveaux d'eau dans le lit endigué de la Loire ont été calculés par l'intermédiaire d'un modèle hydraulique pour 14 occurrences de crues allant de 2 ans à 10 000 ans, soit pour un débit de la Loire au bec d'Allier s'échelonnant de 1900 m³/s à 14 200 m³/s. Il a été supposé dans les calculs qu'aucune brèche ne se produisait en amont et en aval du val de Bou.

Les niveaux d'eau calculés ont été comparés à l'altimétrie de la crête de l'ouvrage afin de déterminer l'occurrence et la localisation des premières surverses.

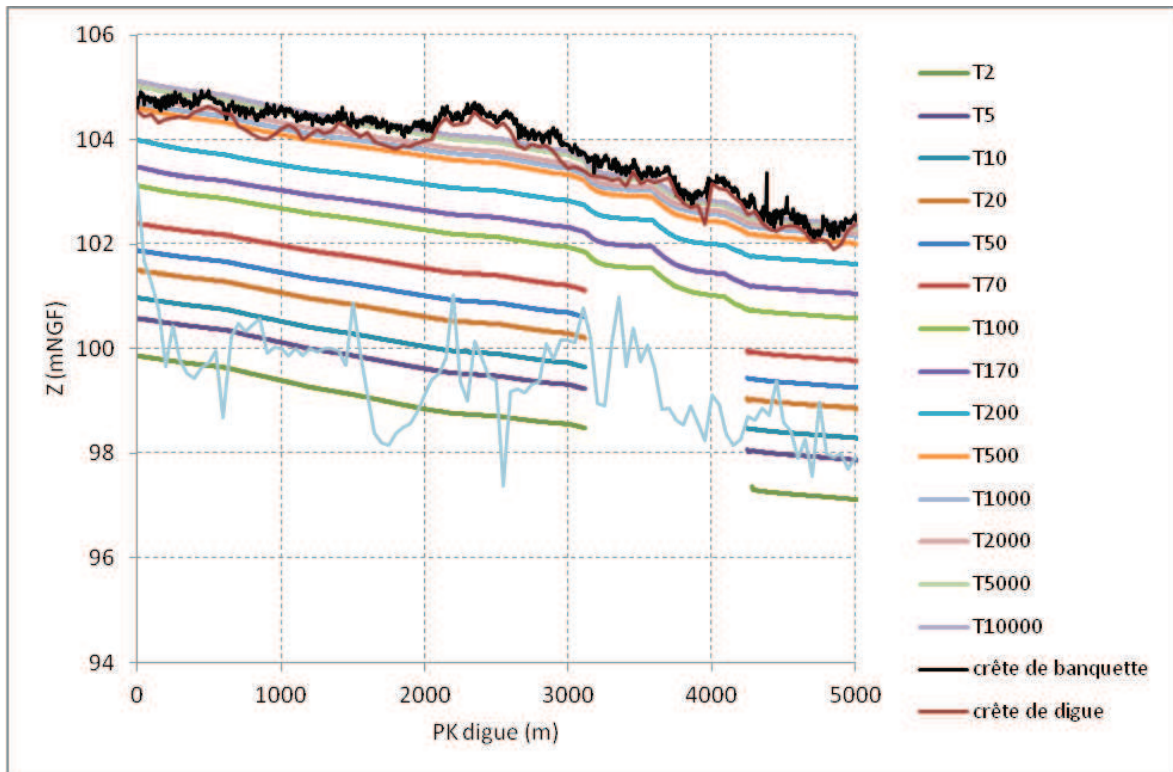


Figure 2 : lignes d'eau, profils en long de la crête de banquette, crête de digue et pied de digue (PK 0 à PK 5000)

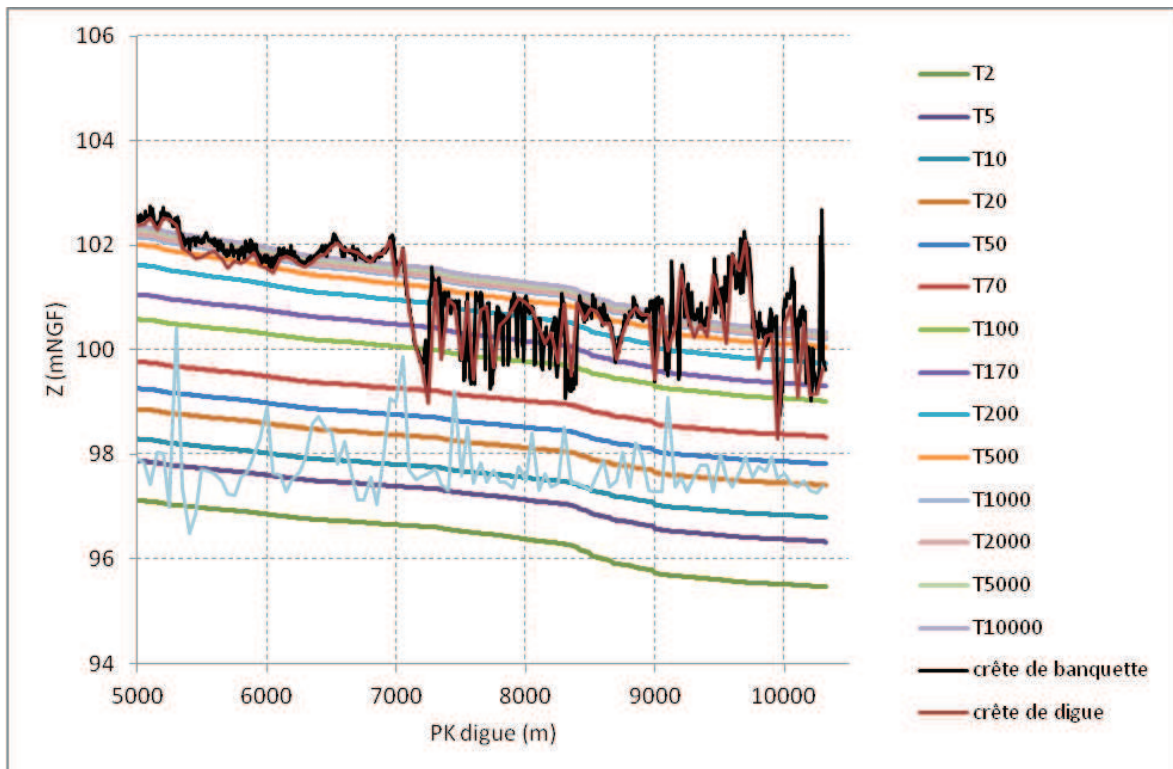


Figure 3 : lignes d'eau, profils en long de la crête de banquette, crête de digue et pied de digue (PK 5000 à PK 10500)

La comparaison des lignes d'eau et du profil en long de la crête de digue mettent en évidence que les premières surverses au-dessus de la levée de Bou se produiraient pour une crue cinqcentennale, correspondant à un débit au bec d'Allier de 7500 m³/s.

La comparaison des lignes d'eau et du profil en long de la crête de digue mettent en évidence que les premières surverses au-dessus de la digue du canal d'Orléans se produiraient pour une crue de période de retour 70 ans, correspondant à un débit au bec d'Allier de 5000 m³/s.

Deux niveaux de protection apparents peuvent donc être définis pour le système d'endiguement du val de Bou :

- Le niveau atteint par la crue cinqcentennale définit le niveau de protection apparent du système d'endiguement du val de Bou à l'amont de la jonction entre la levée de Bou et la digue du canal d'Orléans. A une telle crue correspond une hauteur de 6,1 m à l'échelle de crue d'Orléans, située une dizaine de kilomètres en aval.
- Le niveau atteint par la crue de période de retour 70 ans définit le niveau de protection apparent du système d'endiguement du val de Bou à l'aval de la jonction entre la levée de Bou et la digue du canal d'Orléans. A une telle crue correspond une hauteur de 4,7 m à l'échelle de crue d'Orléans, située une dizaine de kilomètres en aval.

Associées à chacun de ces deux niveaux de protection apparents, deux secteurs peuvent être distingués au sein de la zone protégée par le système d'endiguement :

- Une zone, en rose sur la carte ci-après, inondable par surverse à partir de la crue de période de retour 70 ans
- Une zone, en jaune sur la carte ci-après, inondable par surverse à partir de la crue cinqcentennale

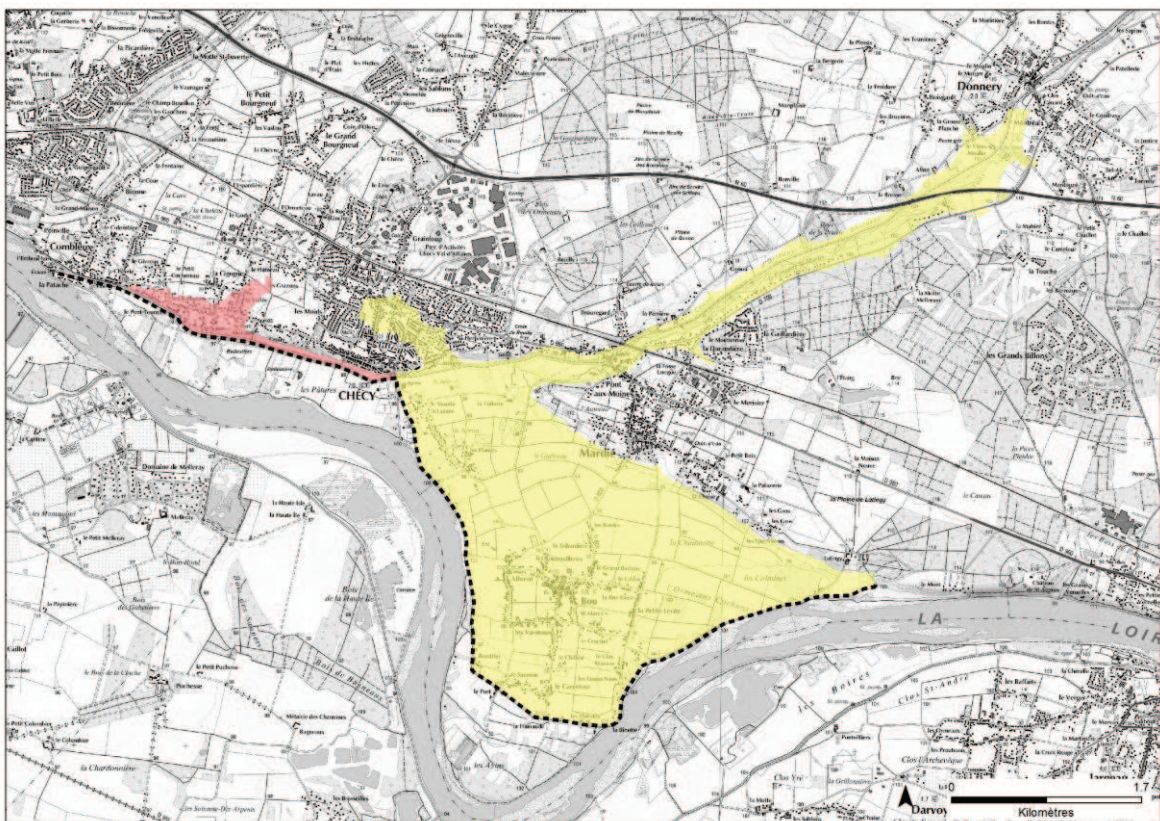


Figure 4 : zones protégées associées à chacun des niveaux de protection apparents du système d'endiguement du val de Bou

Compte tenu de ces considérations, à partir de la crue de période de retour 70 ans, la zone protégée serait en partie inondée, soit directement par surverse, soit par remous.

Pour la crue cinquantennale, correspondant au niveau de protection apparent de la partie amont du val, et en l'absence même de toute défaillance du système d'endiguement, une partie importante de cette zone protégée serait quoiqu'il en soit inondée par remous de la Loire. Pour une telle occurrence de crue, 2211 des 2663 habitants situés dans la zone protégée seraient susceptibles d'être soumis à un tel phénomène.

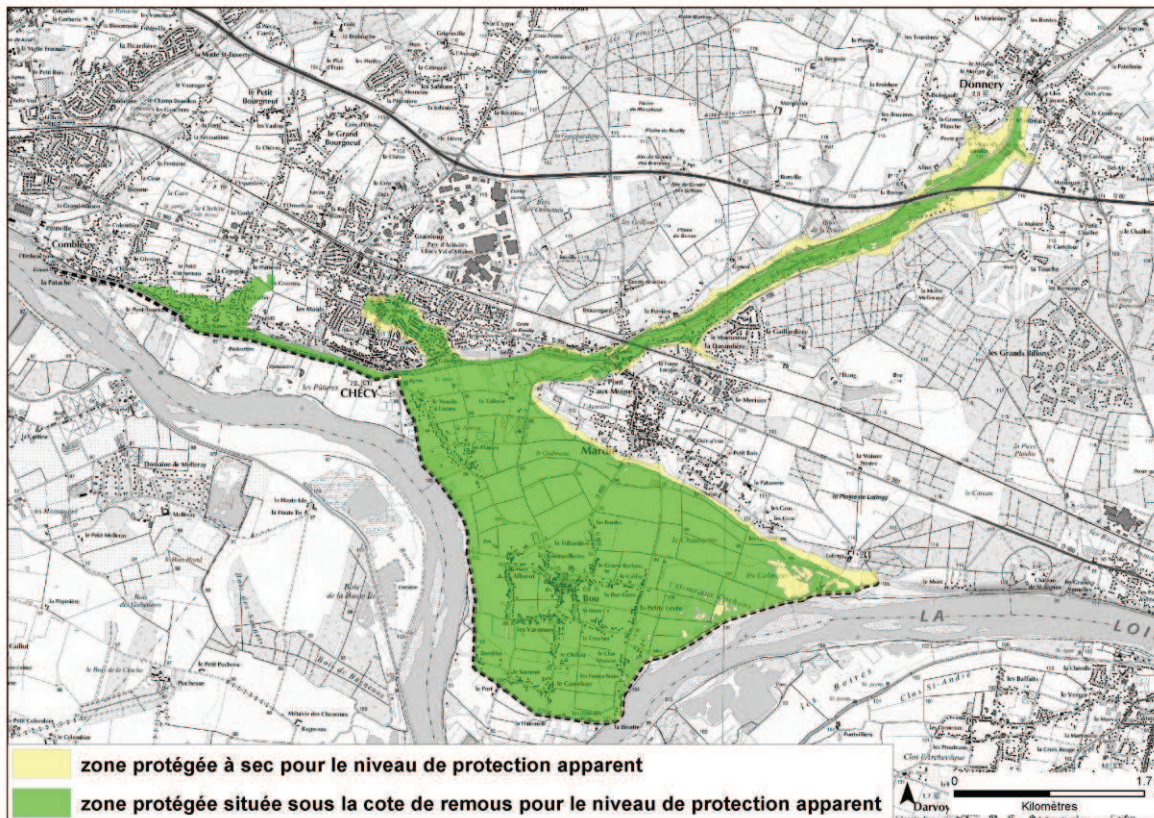


Figure 5 : zone protégée soumise au remous et zone protégée à sec pour le niveau de protection apparent

0.4.3 Défaillance du système d'endiguement

L'analyse de la défaillance des digues en remblai constitutives du système d'endiguement considère 5 modes de rupture potentielle de l'ouvrage :

- Rupture liée à la surverse
- Rupture suite à érosion interne
- Rupture suite à glissement de talus
- Rupture suite à érosion externe
- Rupture suite à soulèvement hydraulique en pied de digue

L'estimation des probabilités de rupture s'appuie sur une discrétisation de la digue en tronçons élémentaires de 50 m de long caractérisés par leur géométrie (crête de digue, pente des talus, largeur en pied, etc.), les sollicitations hydrauliques (niveaux d'eau en Loire) qui s'y appliquent, les différentes anomalies (végétation, terriers, bâtiments encastrés, canalisations traversantes, etc.) qui s'y rattachent, les caractéristiques géotechniques des matériaux qui le composent et les modalités de gestion en période de crue qui y sont pratiquées.

Les calculs sont effectués pour chacun des 5 modes de rupture précités, pour chaque occurrence de crue et chaque tronçon élémentaire de digue par l'intermédiaire d'un modèle de calcul d'aléa de rupture.

Deux principales zones de défaillance potentielle sont mises en évidence au travers de cette analyse :

- Secteur amont de la levée de Bou où a été identifié un terrier de gros diamètre
- Secteur de la Binette qui cumule absence de renforcement, maison encastrée et présence de karst
- Secteur amont du canal d'Orléans où un point bas est susceptible de provoquer une entrée d'eau dans le val dès la crue de période de

Le niveau de sûreté de la levée de Bou est celui atteint par la crue de période de retour 170 ans, correspondant à un débit de 6500 m³/s au niveau du bec d'Allier et à une hauteur de 5,6 m à l'échelle de crue d'Orléans.

Au-delà de ce niveau, la probabilité de rupture au droit du tronçon élémentaire de digue le plus fragile (en l'occurrence le secteur de la Binette vers le PK 2850) ne peut plus être considérée comme négligeable. La probabilité de rupture est estimée à 30% pour la crue bicentennale et est quasi certaine pour la crue cinquantennale.

Le niveau de sûreté de la digue du canal d'Orléans est celui atteint par la crue de période de retour 20 ans, correspondant à un débit de 3600 m³/s au droit du val de Bou et à une hauteur de 3,8 m à l'échelle de crue d'Orléans.

0.4.4 Description du fonctionnement probable du système d'endiguement dans son état actuel

Comme indiqué précédemment, le risque de défaillance de la levée de Bou ne peut plus être considéré comme négligeable au-delà de la crue de période de retour 170 ans, soit en deçà du niveau de protection apparent correspond à celui atteint par la crue cinquantennale que le profil en long de la digue fait ressortir. La levée de Bou ne peut donc actuellement être considérée comme fiable.

Comme indiqué précédemment, à partir de la crue de période de retour 70 ans, la digue du canal d'Orléans entrerait en surverse ce qui provoquerait l'inondation directe de la zone protégée aval et l'inondation par remous de la zone protégée amont. Ce remous s'amplifierait ensuite jusqu'à inonder toute la zone protégée. A partir de la crue cinquantennale, la levée de Bou entrerait quoiqu'il en soit en surverse, ce qui entrainerait de manière quasi-certaine sa rupture et la (sur-) inondation complète du val et de ses habitants.

En conclusion, en l'état actuel, le système d'endiguement présenterait probablement un fonctionnement anormal et préoccupant pour des crues supérieures ou égales à la crue bicentennale.

0.5 CARACTÉRISATION DE LA GRAVITÉ DU RISQUE ASSOCIÉ À LA DÉFAILLANCE DU SYSTÈME D'ENDIGUEMENT

0.5.1 A l'échelle du val

L'étude de dangers évalue les conséquences du risque d'inondation dans le val au travers de différents scénarios d'inondation dont les conséquences sont déterminées à partir de simulations réalisées en utilisant des modèles hydrauliques.

Pour chaque scénario de brèches, la gravité de l'inondation du val qui en résulterait est appréciée par l'intermédiaire du nombre de personnes inondées. La criticité du scénario est quant à elle évaluée en croisant sa probabilité de survenance avec la gravité de ses conséquences.

Le choix des scénarios de défaillance répond à des objectifs de représentativité et de diversité des situations pouvant être rencontrées et s'appuie notamment sur :

- Les résultats issus de l'identification des secteurs de défaillance les plus probables
- La localisation des enjeux
- Le fonctionnement hydraulique interne de la zone protégée

Sur cette base, quatre scénarios de brèches ont été simulés et analysés.

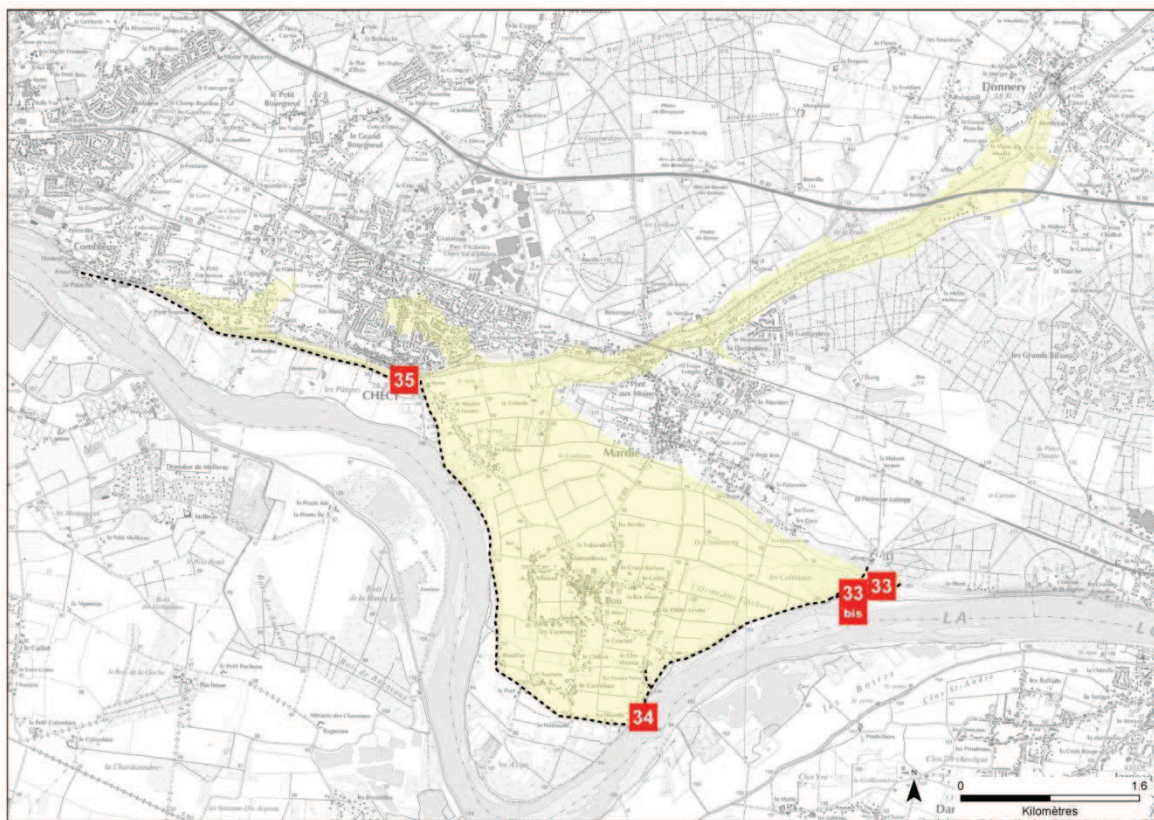


Figure 6 : Carte de localisation des scénarios retenus

Le scénario le plus pénalisant en termes de gravité (enjeux impactés) est le scénario 34 « brèche à la Binette ».

Dans ce scénario, pour une crue cinquantennale, la très grande majorité des personnes résidant dans le val de Bou serait inondé par des hauteurs d'eau importantes.

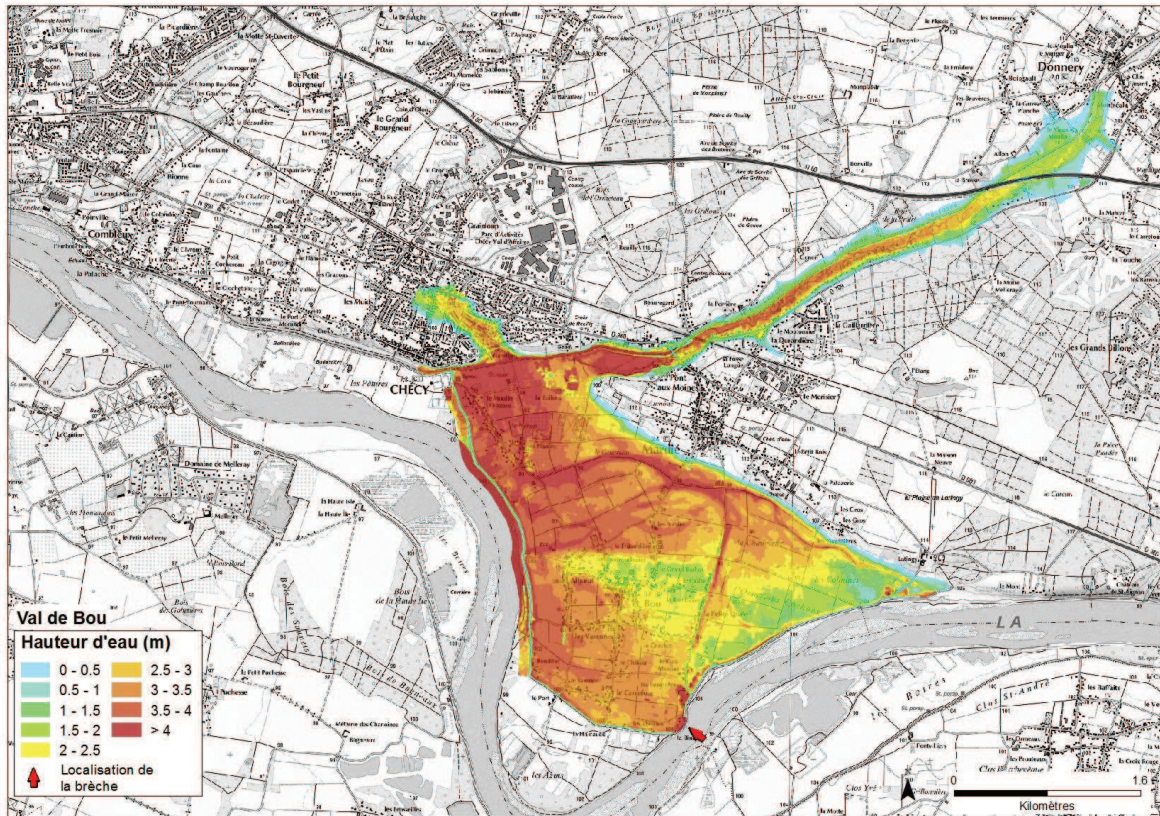


Figure 7 : Carte des hauteurs d'eau maximales - Scénario 34

Compte tenu de la fréquence probable de défaillance du système d'endiguement et des conséquences humaines que cela engendrerait, le risque de rupture peut être qualifié de « préoccupant ».

0.5.2 A l'arrière immédiat des digues

Au-delà des différents scénarios envisagés et simulés, l'analyse des brèches historiques et des fosses d'érosion associées amènent à prendre en compte une zone de dissipation d'énergie en arrière des digues suite à la rupture potentielle de l'ouvrage.

Au regard des observations faites sur les événements historiques, la longueur de cette zone de dissipation peut être estimée à cent fois la différence entre le niveau en Loire pour le niveau de protection apparent et le niveau du terrain naturel dans le val ou le niveau du remous le cas échéant.

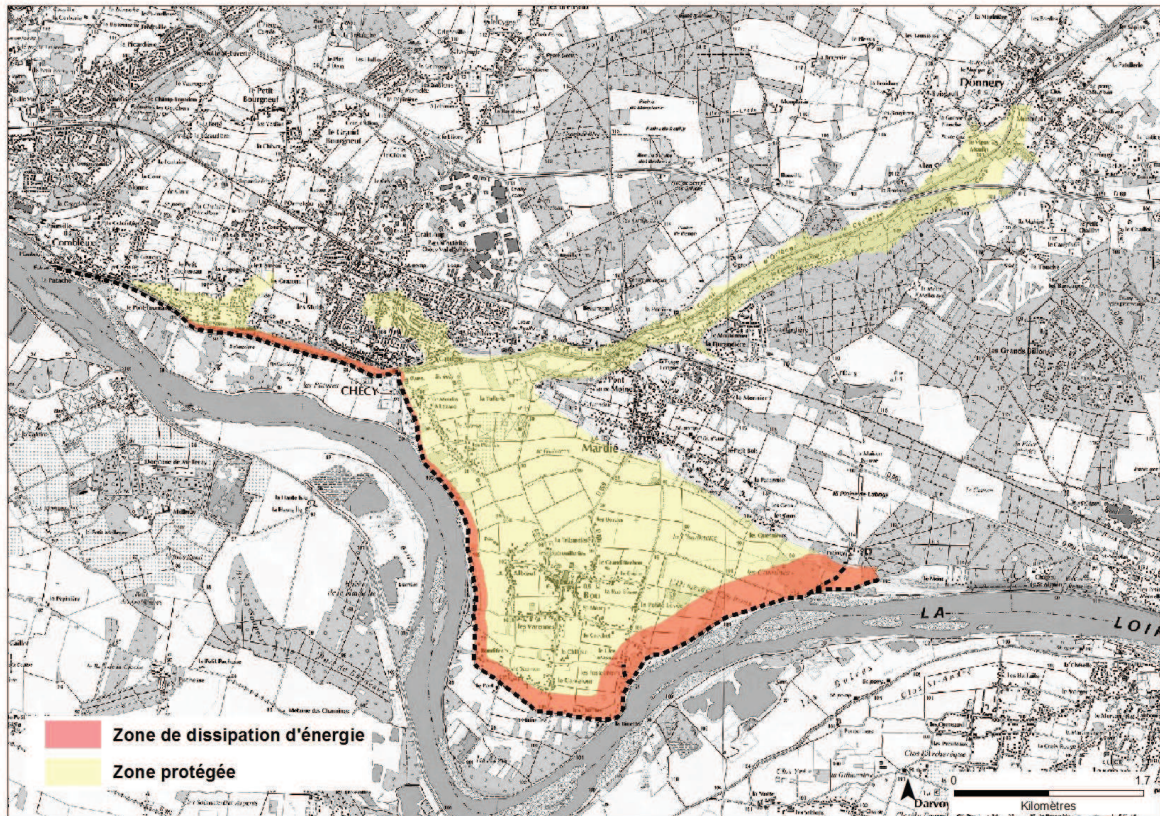


Figure 8 : zone protégée et zone de danger en arrière immédiat des digues

0.6 MESURES DE RÉDUCTION DES RISQUES

L'étude de dangers du système d'endiguement du val de Bou a mis en évidence la possibilité d'une défaillance des ouvrages dont les conséquences seraient sérieuses, justifiant de fait la mise en place de mesures de réduction des risques.

La définition d'un programme de mesures de réduction des risques s'appuie sur les résultats de l'analyse fonctionnelle du système, du diagnostic d'aléa de rupture et de l'analyse des conditions de propagation de l'onde de rupture. Un tel programme combine :

- Mesures de gestion du risque, c'est-à-dire des mesures préventives et/ou opérationnelles relatives à la limitation des conséquences potentielles d'une défaillance du système d'endiguement
- Les mesures structurelles et fonctionnelles, basées sur la résorption des anomalies recensées afin d'augmenter le niveau de sûreté et de fiabiliser le système d'endiguement
- Les mesures relatives à l'amélioration des connaissances, permettant d'affiner le diagnostic réalisé dans le cadre de la présente étude de dangers

0.6.1 Mesures de gestion du risque

Les résultats de l'étude de dangers doivent être intégrés dans les différents dispositifs existants de gestion du risque pour lesquels ils fournissent des éléments de connaissance complémentaires :

- Plan de Prévention des Risques d'Inondation (PPRi) : l'étude de dangers a mis en évidence le danger que continue de constituer une crue moyenne de la Loire pour les enjeux situés dans le val malgré la présence de la digue ; à l'inverse, elle a permis de mettre en évidence l'aléa supplémentaire que générerait une défaillance de l'ouvrage de protection
- Plans Communaux de Sauvegarde : les résultats de l'étude de dangers devront être pris en compte dans les PCS existants ou en cours d'élaboration
- Plan de Surveillance des Levées et consignes écrites : en identifiant les secteurs les plus fragiles, l'étude de dangers constitue une base de travail pour permettre au gestionnaire de prioriser ses actions de surveillance et d'entretien et de mettre en place la logistique (moyens matériels et humains requis, prépositionnement, etc.) afférente à la mise en œuvre d'interventions pour les réparations d'urgence
- Plan d'évacuation des populations : dans l'attente d'une fiabilisation du système d'endiguement et compte tenu des modalités d'inondation du val en cas de défaillance du système d'endiguement, une évacuation préventive du val doit être envisagée en cas de crue susceptible de conduire à l'ouverture d'une brèche au sein de l'ouvrage de protection

0.6.2 Améliorations structurelles et fonctionnelles de la digue

Le diagnostic de rupture conduit à proposer un programme de travaux de fiabilisation du système d'endiguement en deux étapes :

- Un ensemble d'interventions prioritaires afin de limiter le risque de rupture avant surverse et permettant ainsi de rehausser le niveau de sûreté de manière sensible ; les principales mesures entrant dans ce cadre sont :
 - Prévention des attaques et restauration des levées affectées par des terriers (PK 400 et 4850)
 - Suppression de la végétation au droit du PK3100
 - Mise en place d'un écran étanche au droit du PK 3450
- Un ensemble d'interventions complémentaires permettant d'éviter la défaillance du système d'endiguement après surverse et permettant d'atteindre un niveau de sûreté supérieur au niveau de protection apparent

Le coût estimé de la fiabilisation du système d'endiguement du val de Bou est de l'ordre de un million d'euros.

0.6.3 Amélioration des connaissances

La présente étude de dangers a mis en évidence les limites des connaissances de certains phénomènes au rang desquels peuvent être rangés les mécanismes d'effondrements karstiques, les mécanismes d'érosion interne, la formation et le développement des brèches ainsi que les calculs de probabilité de rupture global d'un système d'endiguement.

L'étude de dangers a également mis en évidence les limites relatives à la connaissance des ouvrages eux-mêmes : détection d'anomalies, recherche d'archives sur les modes de réalisation et de mise en œuvre, identification des canalisations traversantes non recensées, etc.

Des études et investigations complémentaires sont en cours ou doivent être lancées afin d'y apporter des éléments de réponse à ces questions.