

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 Saint-Firmin 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 Saint-Firmin s'étend sur environ 3,1 km de la rive gauche de la Loire, sur les communes de Châtillon-sur-Loire et Saint-Firmin-sur-Loire, depuis le lieu-dit « les Chailloux » jusqu'au canal latéral à la Loire.

La zone protégée par le système d'endiguement du val de Saint-Firmin, appelée communément val de Saint-Firmin, abrite environ 240 personnes, situées dans le bourg de Saint-Firmin.

De par sa population protégée et de sa hauteur, le système d'endiguement du val de Saint-Firmin devrait être classé en digue de classe C¹.

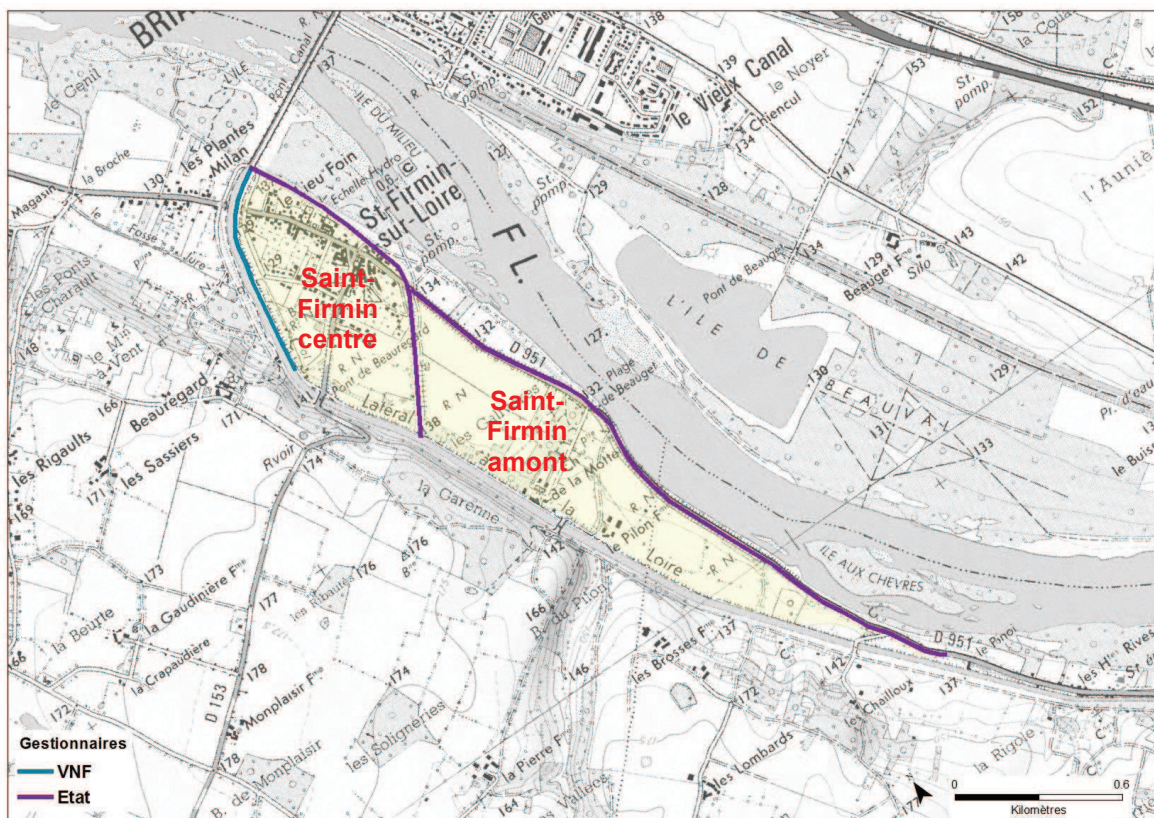
¹ Une digue est considérée de classe C si sa hauteur par rapport au terrain naturel dépasse 1 m et si la population qu'elle protège est comprise entre 10 et 1000 habitants.

0.2 COMPOSITION DU SYSTÈME D'ENDIGUEMENT DU VAL DE SAINT-FIRMIN

Le système d'endiguement du val de Saint-Firmin est un système d'endiguement complètement fermé assurant la protection du val éponyme.

Suite à l'analyse du fonctionnement du val, il est possible de distinguer deux sous-systèmes d'endiguement et deux zones protégées associées :

- Le sous-système d'endiguement de Saint-Firmin « amont » abritant moins d'une dizaine de personnes et constitué de la levée de Saint-Firmin La Motte, 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 1700 m et sa hauteur moyenne est de l'ordre de 2,5 m
- Le sous-système d'endiguement « Saint-Firmin centre » abritant l'essentiel du bourg de Saint-Firmin-sur-Loire (240 personnes protégées) et constitué par :
 - la levée d'enceinte, propriété de l'Etat et géré par la DDT 45 ; ce tronçon représente un linéaire d'environ 1100 m et sa hauteur moyenne est de l'ordre de 3,7 m
 - le canal latéral, propriété de l'Etat et géré par Voies Navigables de France ; ce tronçon représente un linéaire d'environ 800 m et sa hauteur moyenne est supérieure à 8 m



0.3 DANGERS LIÉS AU SYSTÈME D'ENDIGUEMENT DU VAL DE SAINT-FIRMIN

Les dangers liés au système d'endiguement du val de Saint-Firmin résultent principalement de l'irruption accidentelle d'eau à l'intérieur du val lors d'une crue de la Loire résultant :

- Soit de l'ouverture partielle ou totale d'une brèche sur un tronçon de la levée
- Soit de la défaillance de la porte de garde assurant la fermeture du val sous le canal latéral
- Soit d'un dysfonctionnement des ouvrages hydrauliques assurant l'évacuation des fossés de drainage présents dans le val

Il convient de rappeler que le canal latéral à la Loire fait également l'objet d'un classement en tant que barrage. L'analyse de sa probabilité de rupture et des conséquences d'une éventuelle rupture (vidange du bief de navigation + éventuellement entrée d'eau de la Loire).

0.4 NIVEAU DE PROTECTION ET NIVEAU DE SÛRETÉ DU SYSTÈME D'ENDIGUEMENT DU VAL DE SAINT-FIRMIN

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.

Postérieurement aux crues du XIXème siècle, la levée d'enceinte a été érigée à une cote supérieure à celles des plus importantes crues observées jusqu'alors.

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 Saint-Firmin.

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.

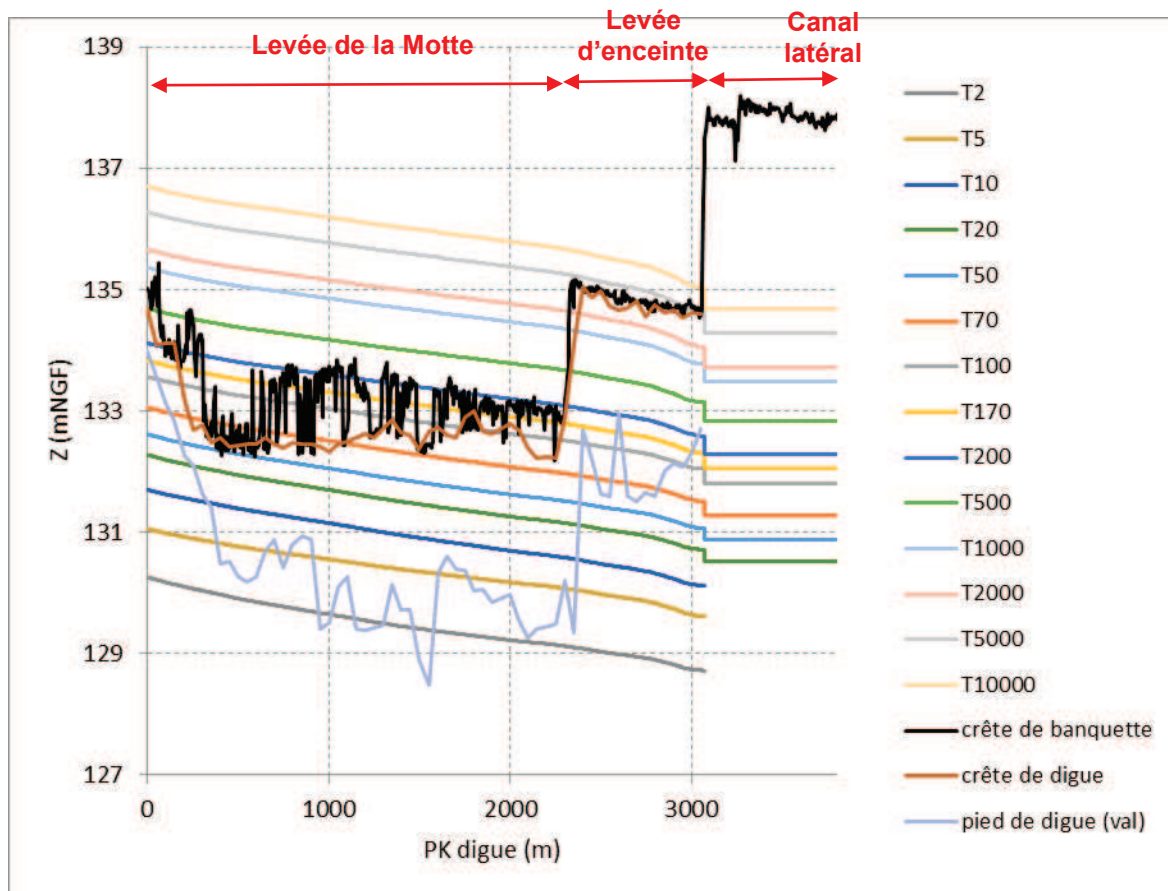


Figure 3 : lignes d'eau, profils en long de la crête de banquette, crête de digue et pied de digue le long de la Loire

La figure suivante présente les profils en long du tronçon amont de la levée d'enceinte et lignes d'eau associées.

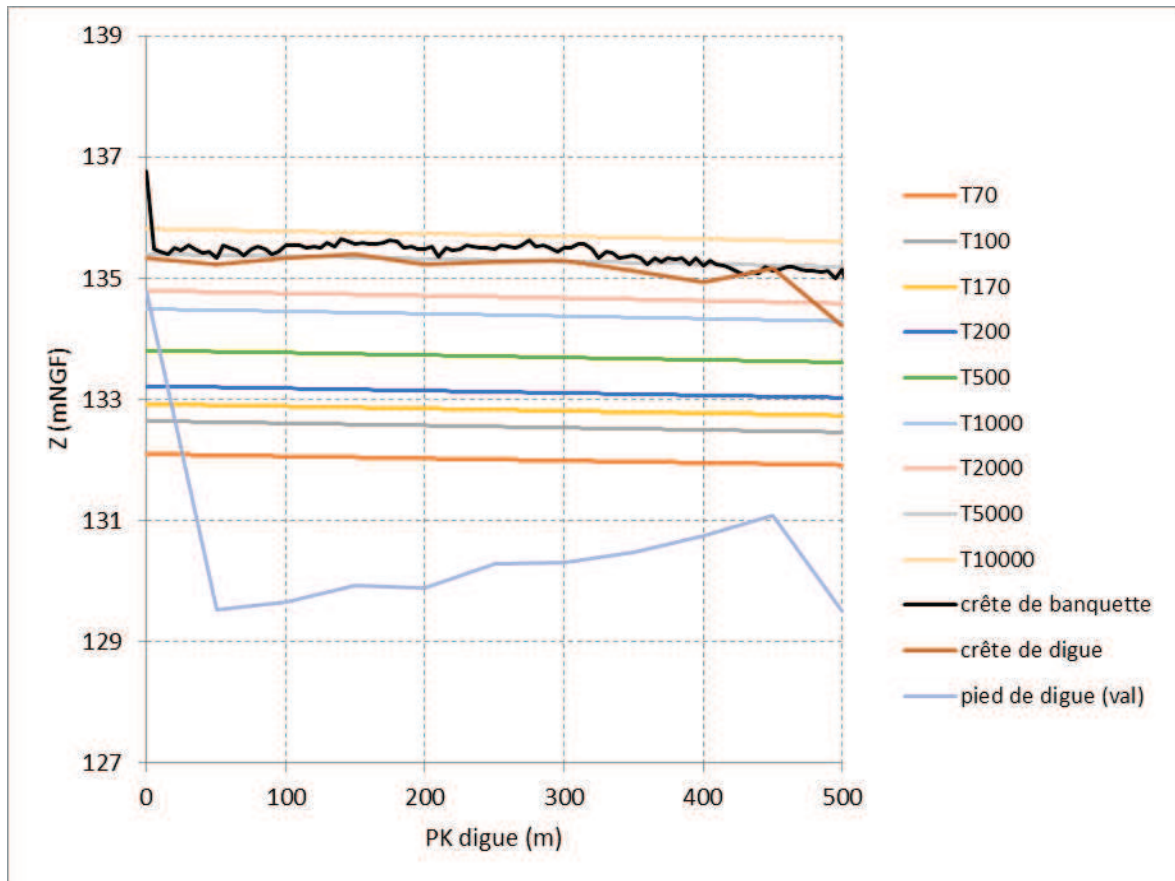


Figure 4 : lignes d'eau, profils en long de la crête de banquette, crête de digue et pied de digue le long de la levée d'enceinte amont (tronçon situé à l'intérieur du val)

Le comparatif des lignes d'eau et du profil en long de la crête de digue mettent en évidence que :

- Sur le sous-système d'endiguement « Saint-Firmin amont », les premières surverses se produiraient pour une crue d'occurrence 60 ans, correspondant à un débit au bec d'Allier de 4500 m³/s environ

Le niveau atteint par la crue de période de retour 60 ans définit donc le niveau de protection apparent du sous-système d'endiguement « Saint-Firmin amont ». A une telle crue correspond une hauteur d'environ 5,6 m à l'échelle de crue de Gien, située une dizaine de kilomètres en aval.

- Sur le sous-système d'endiguement « Saint-Firmin centre »
 - les premières entrées d'eau se produiraient par surverse au-dessus des portes de garde de la RD 951 pour une crue d'occurrence 500 ans environ, correspondant à un débit au bec d'Allier de l'ordre de 7500 m³/s
 - avec mise en place du batardeau de la RD 951, les premières surverses par-dessus la levée d'enceinte se produiraient pour une crue d'occurrence 4000 ans environ, soit un débit au bec d'Allier de l'ordre de 12 000 m³/s
 - sans mise en place du batardeau de la RD 951, les premières surverses par-dessus la levée d'enceinte se produiraient pour une crue d'occurrence 750 ans environ, soit un débit au bec d'Allier de l'ordre de 9250 m³/s

Le niveau atteint par la crue de période de retour 500 ans, correspondant aux premières entrées d'eau par-dessus les portes de garde, définit donc le niveau de protection apparent du sous-système d'endiguement « Saint-Firmin centre ». A une telle crue correspond une hauteur d'environ 7,3 m à l'échelle de crue de Gien, située une dizaine de kilomètres en aval.

0.4.3 Défaillance du système d'endiguement

L'analyse de la défaillance 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 sols 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 d'aléa de rupture.

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

- Secteur amont de la levée de Saint-Firmin La Motte où a été constatée une végétation abondante susceptible de favoriser le risque d'érosion interne
- Secteur amont de la levée d'enceinte (au niveau de la jonction avec le canal latéral à la Loire) où a été constatée une végétation abondante susceptible de favoriser le risque d'érosion interne
- Franchissement de la levée d'enceinte par la RD 951 générant un point bas au sein du système d'endiguement et nécessitant la mise en place d'un batardeau

Le niveau de sûreté du sous-système d'endiguement « Saint-Firmin amont » correspond donc à celui atteint par la crue quinquennale, correspondant à un débit de 2600 m³/s au niveau du val de Saint-Firmin et à une hauteur de 4,1 m à l'échelle de crue de Gien.

Au-delà de ce niveau, la probabilité de rupture au droit du tronçon élémentaire de digue le plus fragile (en l'occurrence le tronçon en amont du val) ne peut plus être considérée comme négligeable. La probabilité de rupture est estimée à 3% pour la crue décennale et dépasse les 80% pour une crue supérieures à la crue vicennale.

Le niveau de sûreté du sous-système d'endiguement « Saint-Firmin centre » correspond quant à lui au niveau de la Loire pour la crue de période de retour 70 ans, correspondant à un débit de 5000 m³/s au niveau du bec d'Allier et à une hauteur de 5,8 m à l'échelle de crue de Gien.

Au-delà de ce niveau, la probabilité de rupture au droit du tronçon élémentaire de digue le plus fragile (en l'occurrence le tronçon situé à la jonction avec le canal latéral à la Loire) ne peut plus être considéré comme négligeable. La probabilité de rupture est estimée à près de 25% pour la crue centennale, à plus de 50% pour la crue de période de retour 170 ans et dépasse les 75% pour la crue bicentennale.

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

Comme indiqué précédemment :

- Sur le sous-système d'endiguement de « Saint-Firmin amont », le risque de défaillance de l'ouvrage ne peut plus être considéré comme négligeable au-delà de la crue quinquennale et devient même très probable à partir de la crue vicennale, soit bien en deçà du niveau de protection apparent correspondant à la crue de période de retour 60 ans que le profil en long de la digue faisait ressortir
- Sur le sous-système d'endiguement de « Saint-Firmin centre », le risque de défaillance de l'ouvrage ne peut plus être considéré comme négligeable au-delà de la crue vicennale et devient même très probable à partir de la crue centennale, soit bien en deçà du niveau de protection apparent correspondant à la crue de période de retour 500 ans que le profil en long de la digue faisait ressortir

La fiabilité des deux sous systèmes d'endiguement du val de Saint-Firmin est donc loin d'être atteinte.

A partir de la crue de , la levée de Saint-Firmin La Motte entrerait quoiqu'il en soit en surverse, ce qui entrainerait de manière quasi-certaine sa rupture et l'inondation de la partie amont du val. A partir de la crue de période de retour 500 ans, l'eau pénétrerait dans Saint-Firmin bourg par l'intermédiaire du passage existant au-dessus des portes de garde de la RD 951 au niveau de son passage sous le canal latéral à la Loire. Au-delà de la crue de période de retour 4000 ans, la levée d'enceinte entrerait quoiqu'il en soit en surverse, ce qui entrainerait de manière quasi-certaine sa rupture et l'inondation rapide du bourg de Saint-Firmin.

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 quinquennale pour la partie amont du val et à la crue vicennale pour la partie urbaine du val où est localisée la très grande majorité des enjeux.

Le scénario le plus pénalisant en termes de gravité (enjeux impactés) est le scénario n°10 bis « rupture en amont de la levée d'enceinte ». C'est aussi le scénario le plus probable au niveau du sous-système d'endiguement « Saint-Firmin centre ».

Dans ce scénario, pour une crue centennale, l'ensemble des personnes résidant dans le val de Saint-Firmin serait inondé par des hauteurs d'eau très importantes.

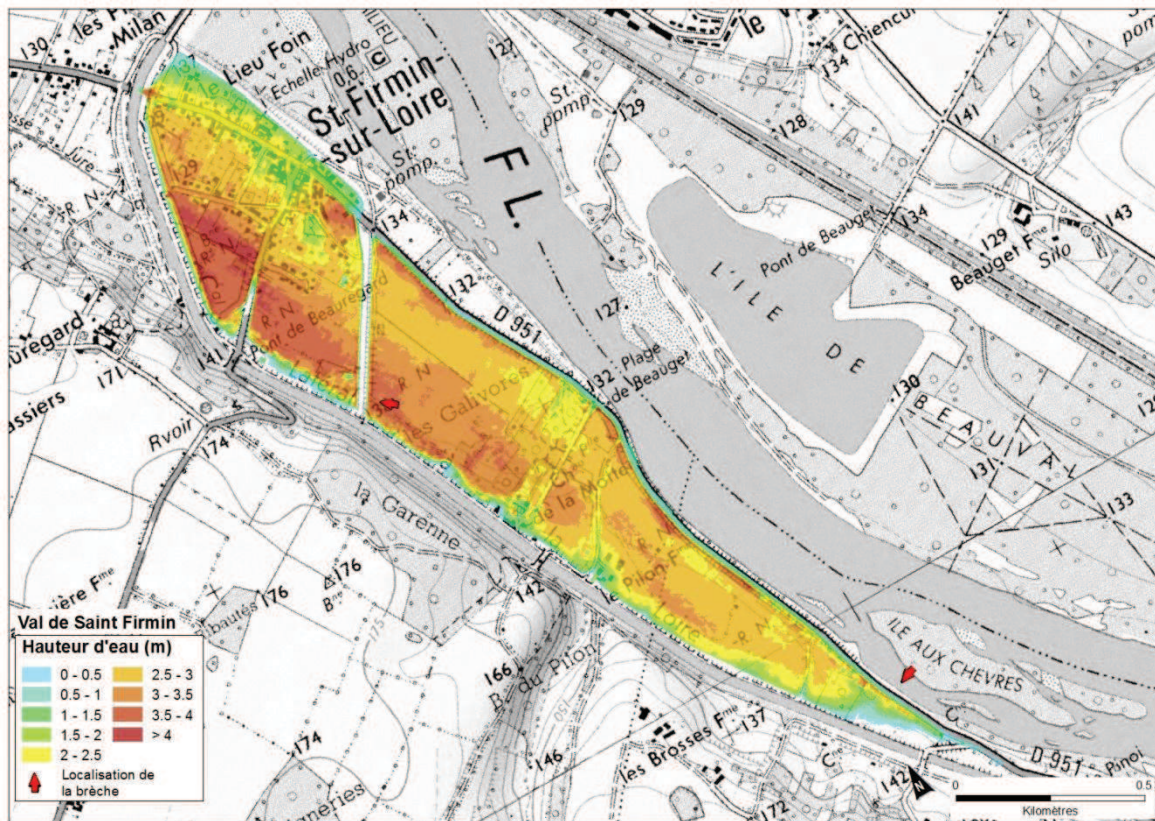


Figure 6 : Carte des hauteurs d'eau maximales - Scénario 10bis

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.

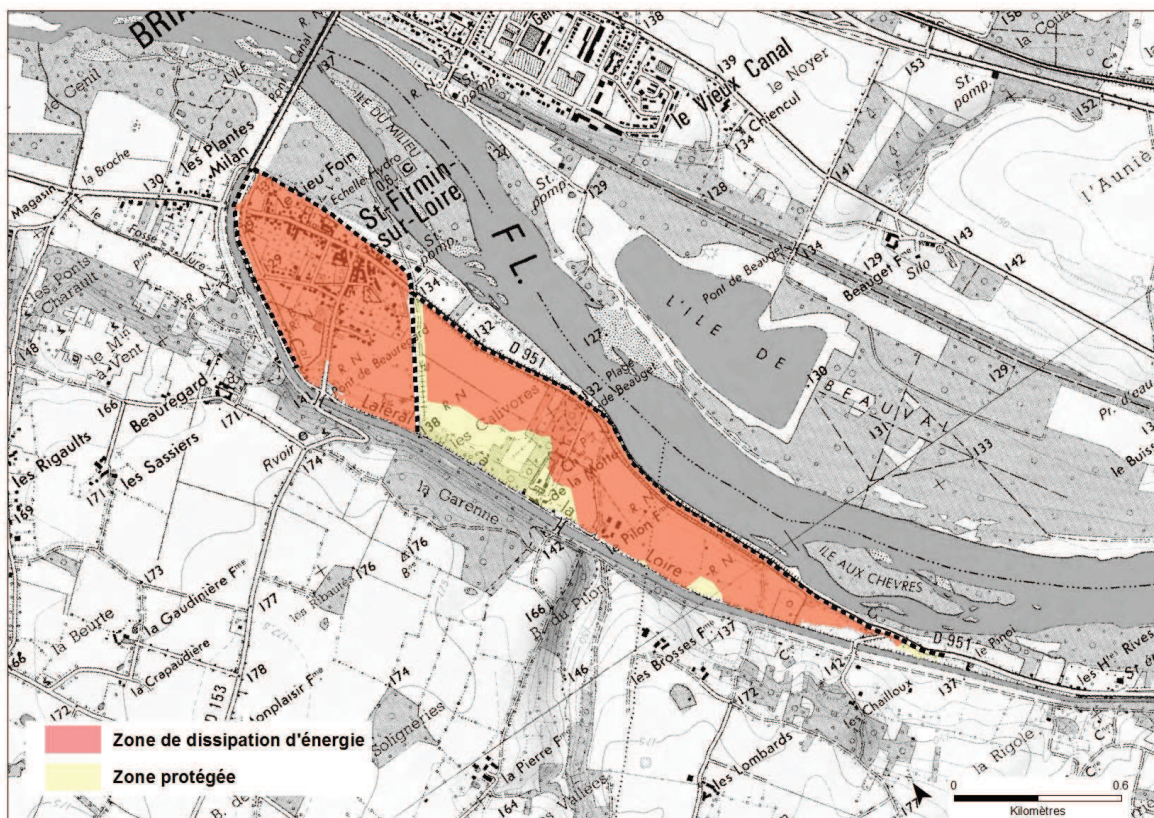


Figure 7 : zone de dissipation d'énergie en arrière des levées

0.6 MESURES DE RÉDUCTION DES RISQUES

L'étude de dangers du système d'endiguement du val de Saint-Firmin a mis en évidence la forte probabilité 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 :
 - o Mise en place d'un épaulement filtrant du PK 450 au PK 1500
 - o Mise en place de puits de décompression aux PK 550, 600, 1200 et 1350
 - o Mise en place d'un épaulement filtrant côté val entre les PK50 et 400 de la levée d'enceinte
 - o Fonctionnalité de l'ouvrage à confirmer et travaux de réhabilitation à engager le cas échéant
 - o Suppression de la végétation sur le talus côté val du PK 450 au PK 1750 ainsi qu'au PK 2200
 - o Suppression de la végétation encore présente du PK50 au PK 400 de la levée d'enceinte
- 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 Saint-Firmin est de l'ordre de 2 millions 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'apporter des éléments de réponse à ces questions.