

ÉTUDE DE DANGERS DU SYSTEME DE PROTECTION DU VAL DE SULLY-SUR-LOIRE 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 Sully 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 Sully s'étend sur environ 12 km de la rive gauche de la Loire, sur les communes de Lion-en-Sullias, Saint-Aignan-le-Jaillard et Sully-sur-Loire, entre le bourg de Lion-en-Sullias et celui de Sully-sur-Loire.

La zone protégée par le système d'endiguement du val de Sully, appelée communément val de Sully, abrite environ 3200 personnes.

On peut distinguer deux secteurs au sein de cette zone protégée :

- Un secteur correspondant à la zone protégée par le système d'endiguement du val de Sully à proprement parler, d'une superficie de 15,1 km² et abritant la quasi-totalité de la population protégée
- Un secteur correspondant à la zone protégée par la levée des Noyers, d'une superficie de 0,4 km² et abritant une douzaine de personnes

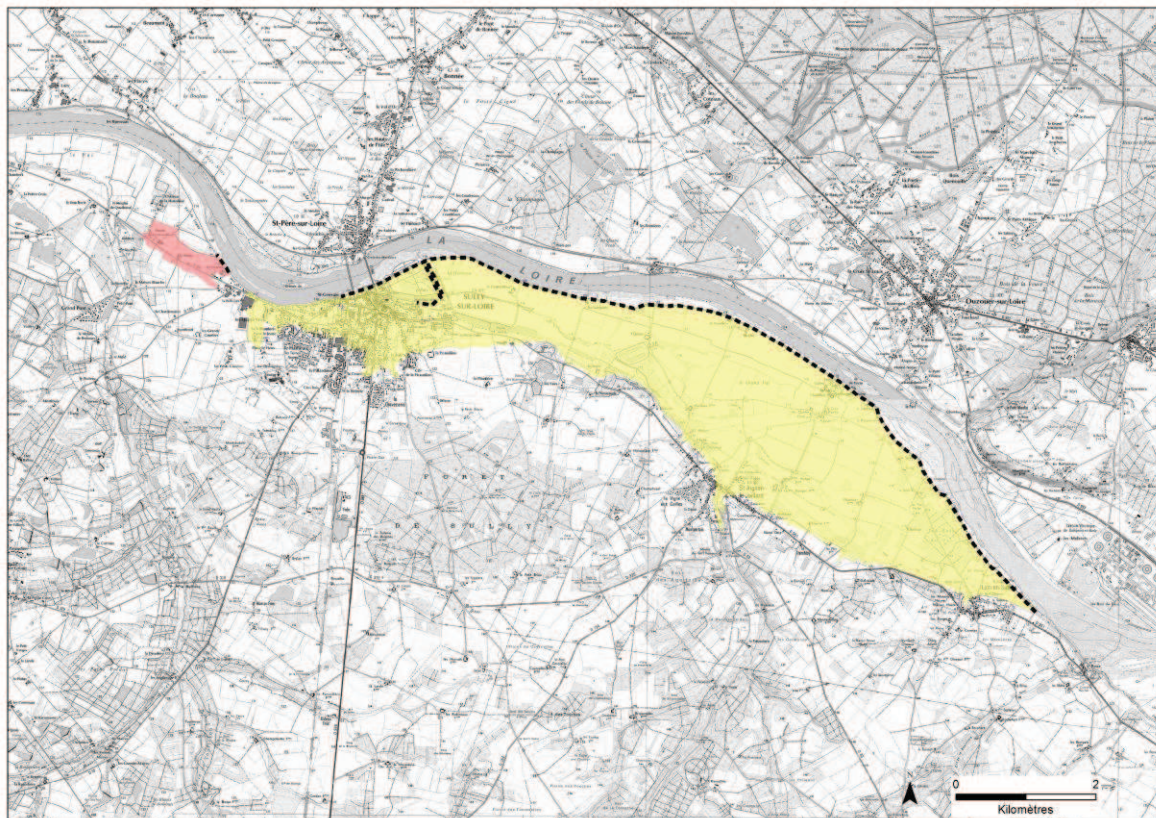


Figure 1 : zones protégées associées au système d'endiguement du val de Sully à proprement parler (en jaune) et à la levée des Noyers (en rose)

Compte tenu de la population qu'il protège et de sa hauteur, le système d'endiguement du val de Sully (hors levées non domaniales, cf. infra) a fait l'objet, par arrêté préfectoral, d'un classement en digue de classe B¹.

0.2 COMPOSITION DU SYSTÈME D'ENDIGUEMENT DU VAL DE SULLY

Le système d'endiguement du val de Sully est un système d'endiguement ouvert en aval assurant la protection du val éponyme.

Il est constitué :

- De plusieurs levées domaniales, 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)
 - o levée de Cuissy, d'un linéaire d'environ 10,8 km et d'une hauteur moyenne de l'ordre de 4,3 m
 - o levée de Saint-Germain, d'un linéaire d'environ 500 m et d'une hauteur moyenne de l'ordre de 2,9 m
 - o levée des Noyers, d'un linéaire d'environ 350 m et d'une hauteur moyenne de l'ordre de 1,6 m
- De la levée du château, propriété du Conseil général du Loiret et représentant un tronçon de 800 m environ et d'une hauteur moyenne de 3,0 m

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

- D'un faible linéaire de digue propriété de RFF au droit du pont SNCF
- D'une digue de second rang, gérée par le CG 45, constituée par la levée d'enceinte du château (hauteur moyenne d'environ 3 m)

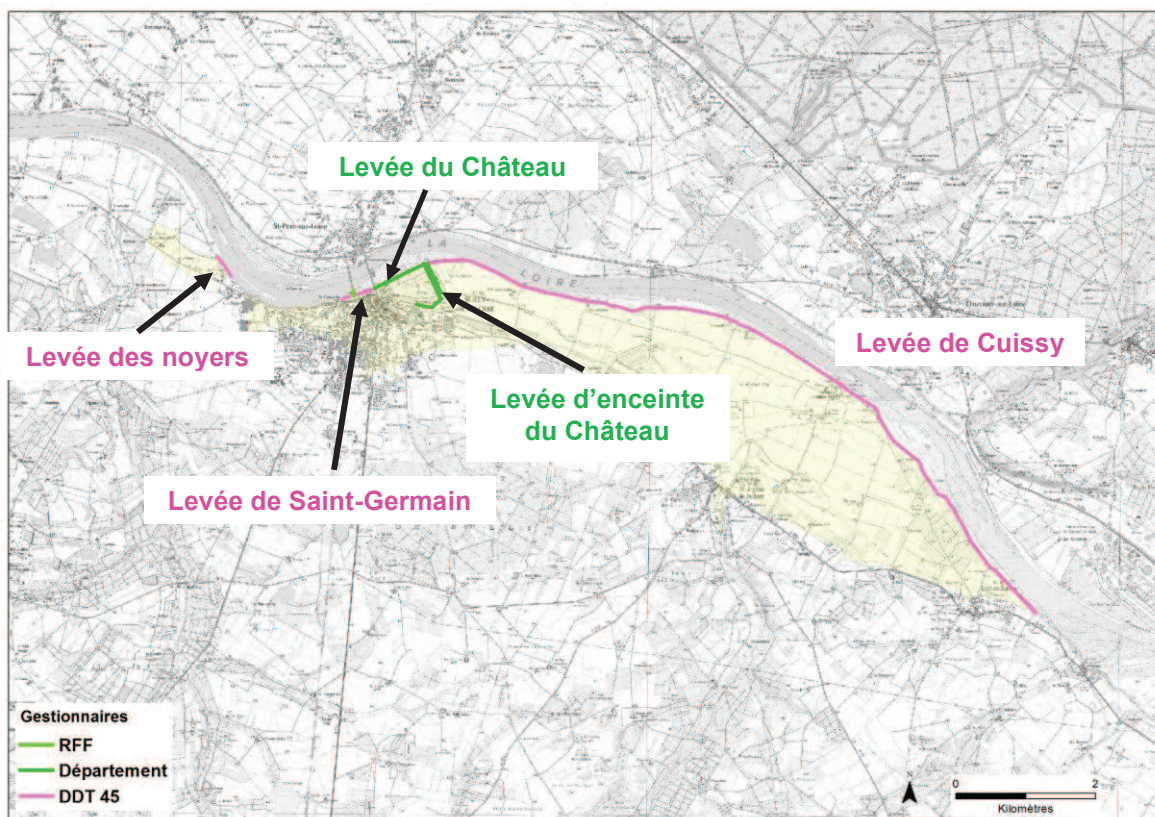


Figure 2 : localisation des différents tronçons de levées et gestionnaires associés

Compte tenu de l'indépendance des zones protégées associées respectivement au système d'endiguement du val de Sully à proprement parler (c'est-à-dire hors levée des Noyers) et à la seule levée des Noyers, il conviendrait toutefois de distinguer spécifiquement ces deux systèmes d'endiguement afin que chacun fasse l'objet d'un classement séparé et éventuellement d'une gestion différenciée.

En l'espèce, compte tenu des résultats de la présente étude de dangers, le système d'endiguement du val de Sully à proprement parler devrait rester classé en tant que digue de classe B (en y associant toutefois les linéaires non domaniaux ainsi que les ouvrages de second rang) alors que la levée des Noyers devrait faire l'objet d'un classement en tant que digue de classe C.

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

Les dangers liés au système d'endiguement du val de Sully 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
- au dysfonctionnement d'un des ouvrages hydrauliques assurant l'évacuation des fossés ou cours d'eau drainant le val
- au remous de la Loire depuis le linéaire non endigué

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

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 recherchée alors correspondait aux crues en question, soit une occurrence 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 Sully.

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.

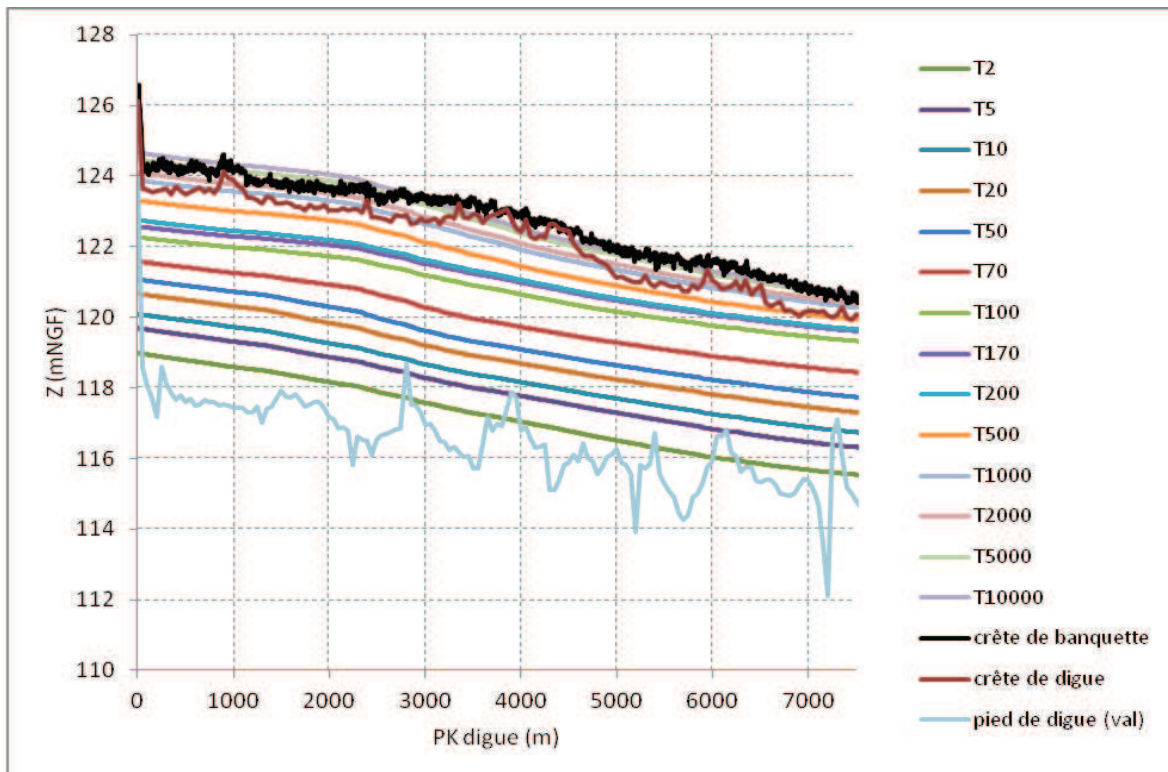


Figure 3 : lignes d'eau, profils en long de la crête de banquette, crête de digue et pied de digue (PK 0 à PK 7500)

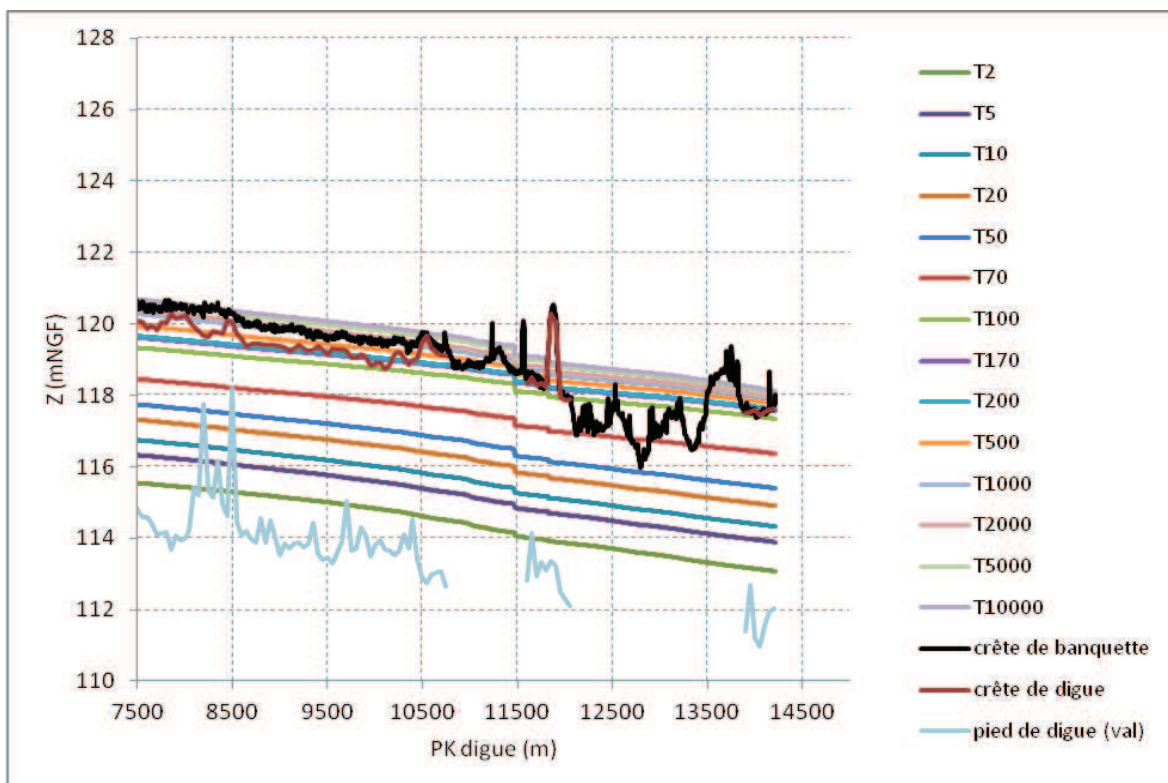


Figure 4 : lignes d'eau, profils en long de la crête de banquette, crête de digue et pied de digue (PK 7500 à PK 15000)

Le comparatif des lignes d'eau et du profil en long de la crête de digue mettent en évidence que les premières surverses se produiraient pour une crue d'occurrence 170 ans, correspondant à un débit au bec d'Allier de 6500 m³/s.

Le niveau atteint par la crue de période de retour 170 ans définit donc le niveau de protection apparent des deux tronçons du système d'endiguement du val de Sully. A une telle crue correspond une hauteur de 6,5 m à l'échelle de crue de Gien, située une quinzaine de kilomètres en amont.

Toutefois, à partir de la crue d'occurrence 70 ans, soit un débit d'environ 5000 m³/s au bec d'Allier et une hauteur à l'échelle de crue de Gien est de 5,8 m, la zone protégée serait en partie inondée par remous.

Pour la crue d'occurrence 170 ans, correspondant au niveau de protection apparent du val de Sully, 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, 2057 des 3191 habitants situés dans la zone protégée seraient susceptibles d'être soumis à un tel phénomène.

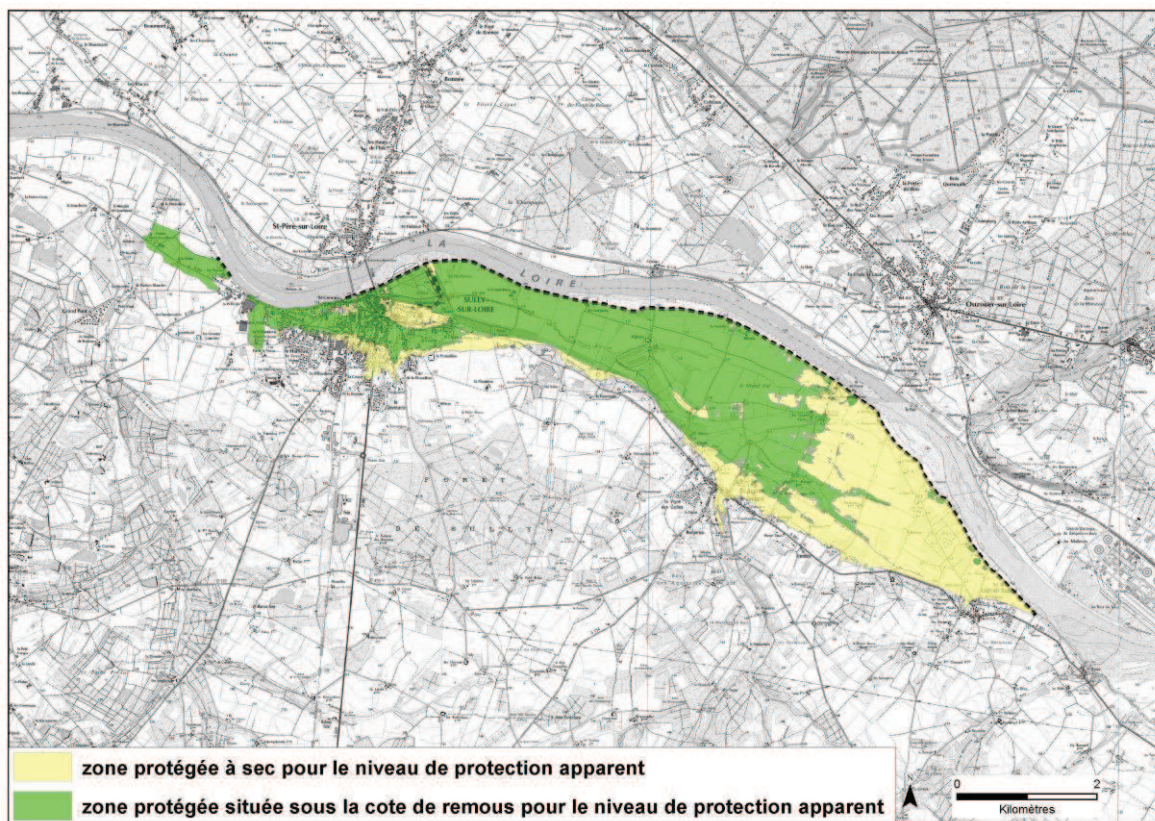


Figure 5 : zone protégée soumise au remous et zone protégée à sec pour le niveau de protection apparent

0.4.3 Défaillance du système d'endiguement

L'analyse de la défaillance 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 caractérisé par sa 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 du château de Cuissy du fait de la présence d'une végétation abondante et de l'absence de renforcement côté val
- Secteur situé autour de l'exutoire de la Sange constituant le point bas de la digue
- Levée non domaniale du château de Sully, tronçon non renforcé et non surveillé présentant en outre une végétation clairsemée

Le niveau de sûreté du système d'endiguement du val de Sully à proprement parler correspond à celui atteint par la crue cinquantennale, correspondant à un débit de 4200 m³/s niveau du bec d'Allier et à une hauteur à l'échelle de crue de Gien de 5,4 m.

Au-delà de ce niveau, la probabilité de rupture au droit du tronçon élémentaire de digue le plus fragile (en l'occurrence la levée du château) ne peut plus être considéré comme négligeable. La probabilité de rupture est estimée à un peu plus de 1% pour Q70, 50% pour Q100 et est certaine à partir de Q170.

Le niveau de sûreté de la levée des Noyers correspond quant à lui à celui atteint par la crue de période de retour 70 ans, correspondant à un débit de 5000 m³/s niveau du bec d'Allier et à une hauteur à l'échelle de crue de Gien de 5,8 m.

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

Comme indiqué précédemment, le risque de défaillance de l'ouvrage ne peut plus être considéré comme négligeable au-delà de Q50 et devient même très probable à partir de Q100, soit en deçà du niveau de protection apparent de Q170 que le profil en long de la digue faisait ressortir. Le système d'endiguement du val de Sully ne peut donc être considéré comme fiable.

A partir de Q170, la digue entrerait quoiqu'il en soit en surverse ce qui entrainerait de manière certaine sa rupture et l'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 Q70.

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.

La sélection 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, cinq scénarios de brèches et un scénario d'inondation par remous ont été simulés et analysés.

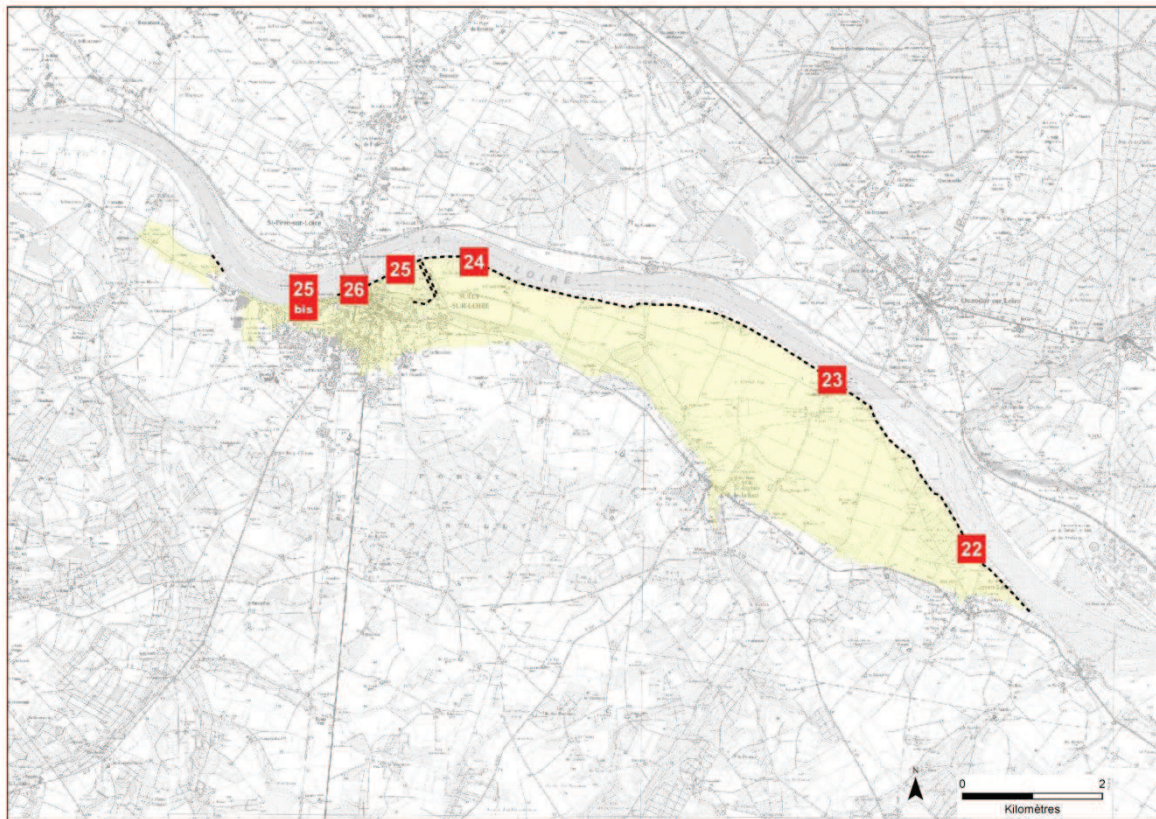


Figure 6 : Carte de localisation des scénarios retenus

Le scénario le plus pénalisant en termes de gravité (enjeux impactés) est le scénario n°23 « brèche au château de Cuissy ».

Dans ce scénario, pour Q170, près de 3000 personnes seraient inondées dont plus d'un tiers avec des hauteurs d'eau importantes.

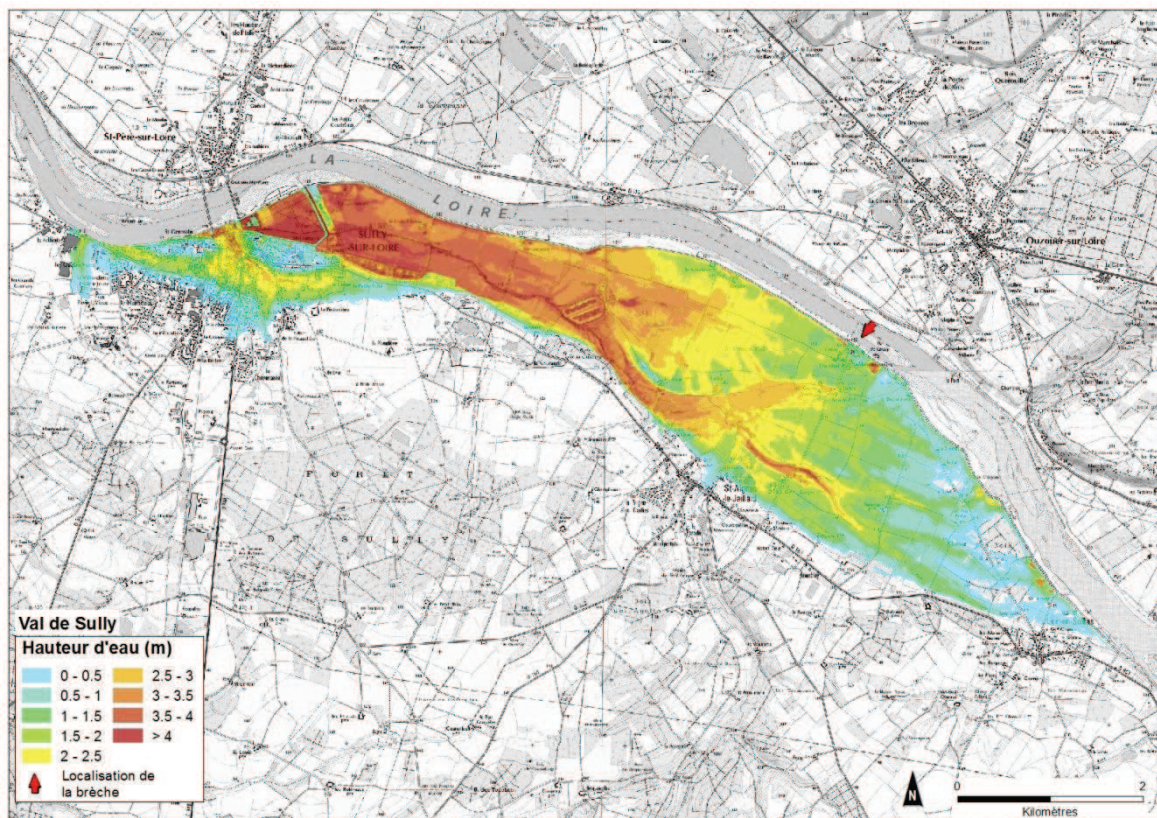


Figure 7 : Carte des hauteurs d'eau maximales - Scénario 23

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.

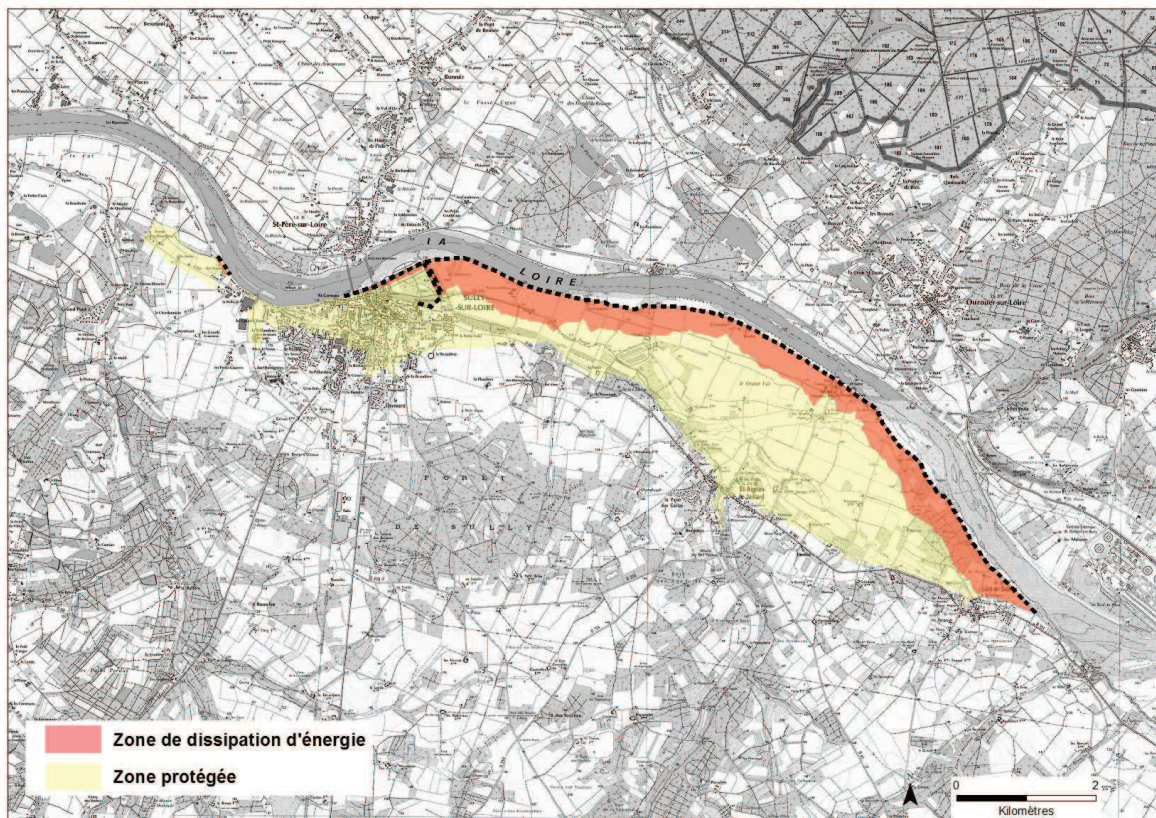


Figure 8 : zone de dissipation d'énergie en arrière des levées

0.6 MESURES DE RÉDUCTION DES RISQUES

L'étude de dangers du système d'endiguement du val de Sully 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 génèrerait 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 Prévenir les attaques et restaurer les secteurs détériorés par des terriers (levée des Noyers)
 - o Suppression de la canalisation présente au PK 3050
 - o Mise en place d'un écran étanche entre les PK11900 et 12000
 - o Mise en place d'un puits de décompression du PK5900 à 6000
 - o Suppression de la végétation au droit du PK11050 (levée du château)
- Un ensemble d'intervention 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 Sully est de l'ordre de 1,6 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.