

DDT DU LOIRET

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

Rapport d'étude



Décembre 2014

800494_PG_GIEN.docx



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 Gien 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 Gien s'étend sur environ 12 km de la rive gauche de la Loire, sur les communes de Saint-Martin-sur-Ocre, Gien, Poilly-lez-Gien, Saint-Gondon et Lion-en-Sullias.

La zone protégée par le système d'endiguement du val de Gien, appelée communément val de Gien, abrite environ 1400 personnes.

De par la hauteur des ouvrages qui le constituent et la population qu'il protège, le système d'endiguement du val de Gien a été classé en digue de classe B¹.

0.2 COMPOSITION DU SYSTÈME D'ENDIGUEMENT DU VAL DE GIEN

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

Il est constitué :

- En amont
 - Du déversoir de Saint-Martin-sur-Ocre d'une longueur d'environ 225 m
 - De la levée de Saint-Martin, représentant un linéaire d'environ 2300 m dont la hauteur moyenne est de 2,0 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.

- En aval, de la levée de Saint-Gondon, représentant un linéaire d'environ 5000 m dont la hauteur moyenne est de 2,0 m

L'endiguement est interrompu par un linéaire d'environ 2500 m non endigué, compris entre l'aval de la RD 940 (« le Colombier ») et « Port-Gallier ».

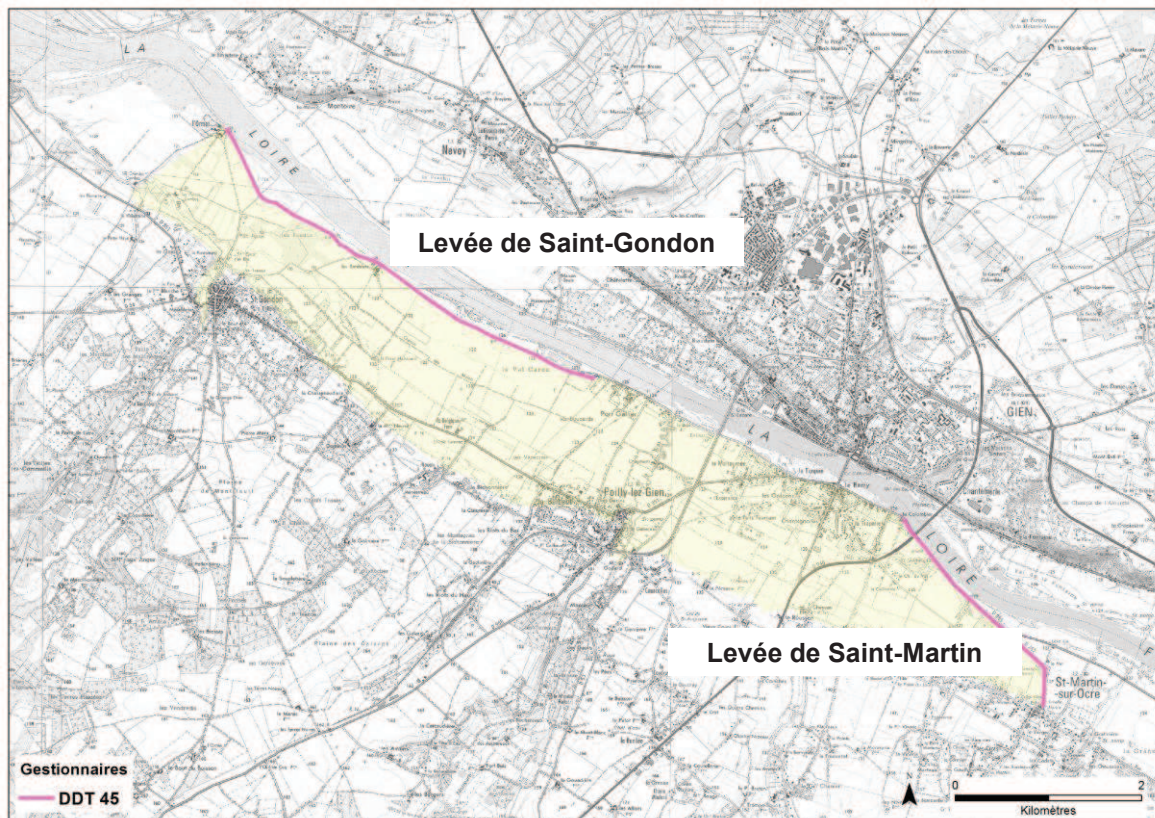


Figure 1 : tronçons de levées

En dehors du tronçon correspondant au déversoir de Saint-Martin-sur-Ocre situé à l'extrémité amont du val, le système d'endiguement est constitué par un ouvrage en terre, non résistant à la surverse.

Comme toutes les levées de la Loire, les levées de Saint-Martin et Saint-Gondon sont des ouvrages anciens qui ont été construits et reconstruits par élévations et élargissements successifs au fil des siècles et des crues.

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,
- Obstacles sur les talus de digue.

En l'espèce, l'état général du système d'endiguement du val de Gien est correct mais plusieurs désordres (végétation et terriers notamment) sont susceptibles de fragiliser l'ouvrage.

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

Les dangers liés au système d'endiguement du val de Gien 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 fonctionnement du déversoir de Saint-Martin
- au dysfonctionnement d'un des ouvrages hydrauliques traversant les levées et assurant l'évacuation des fossés et cours d'eau présents dans le val

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

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

L'objectif de protection historique correspond à la crue supposée déclencher la mise en fonctionnement du déversoir de Saint-Martin à l'époque de sa conception. Compte tenu de l'évolution de la Loire depuis la création de ce déversoir au début du XVIIIème siècle, il est difficile d'estimer précisément cette occurrence. Néanmoins, on peut estimer qu'elle se situe dans l'intervalle compris entre la crue quinquennale et la crue vicennale.

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 Gien.

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.

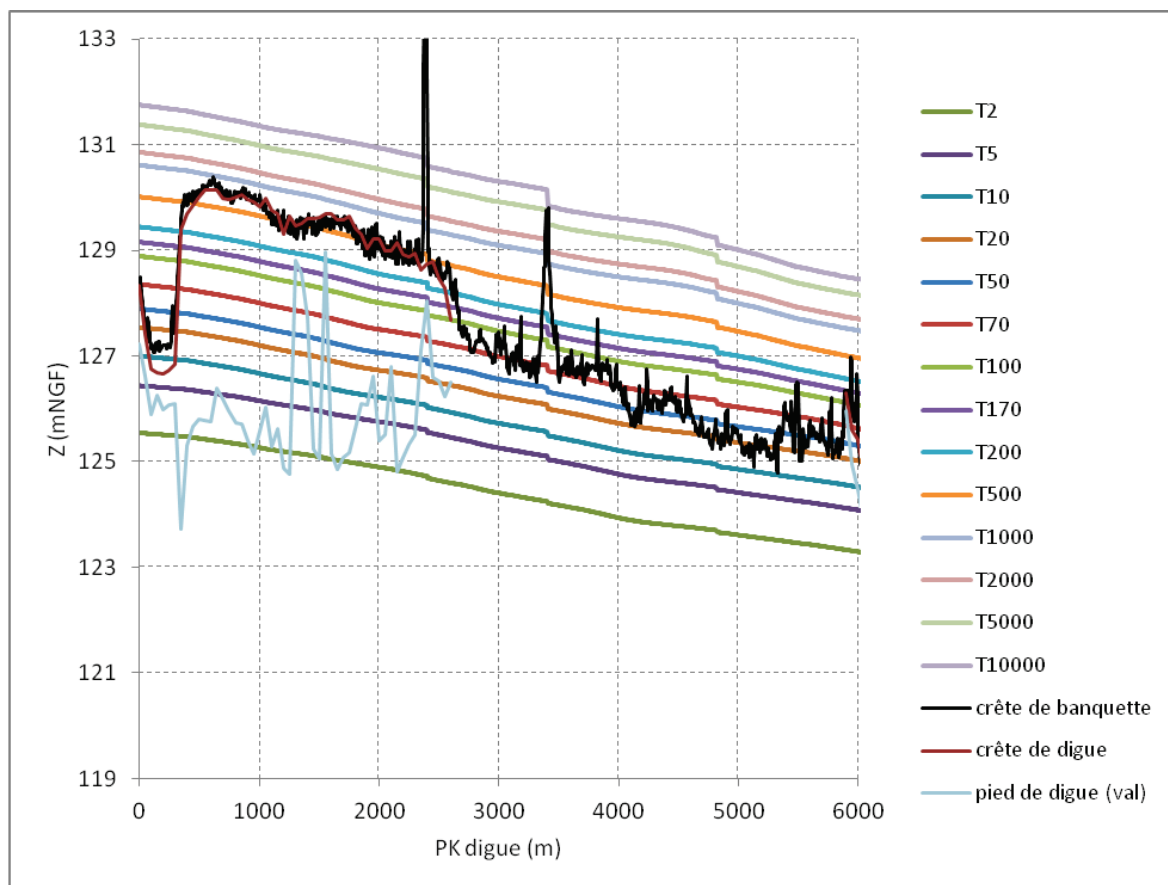


Figure 2 : lignes d'eau, profils en long de la crête de banquette, crête de digue et pied de digue (PK 0 à PK 6000)

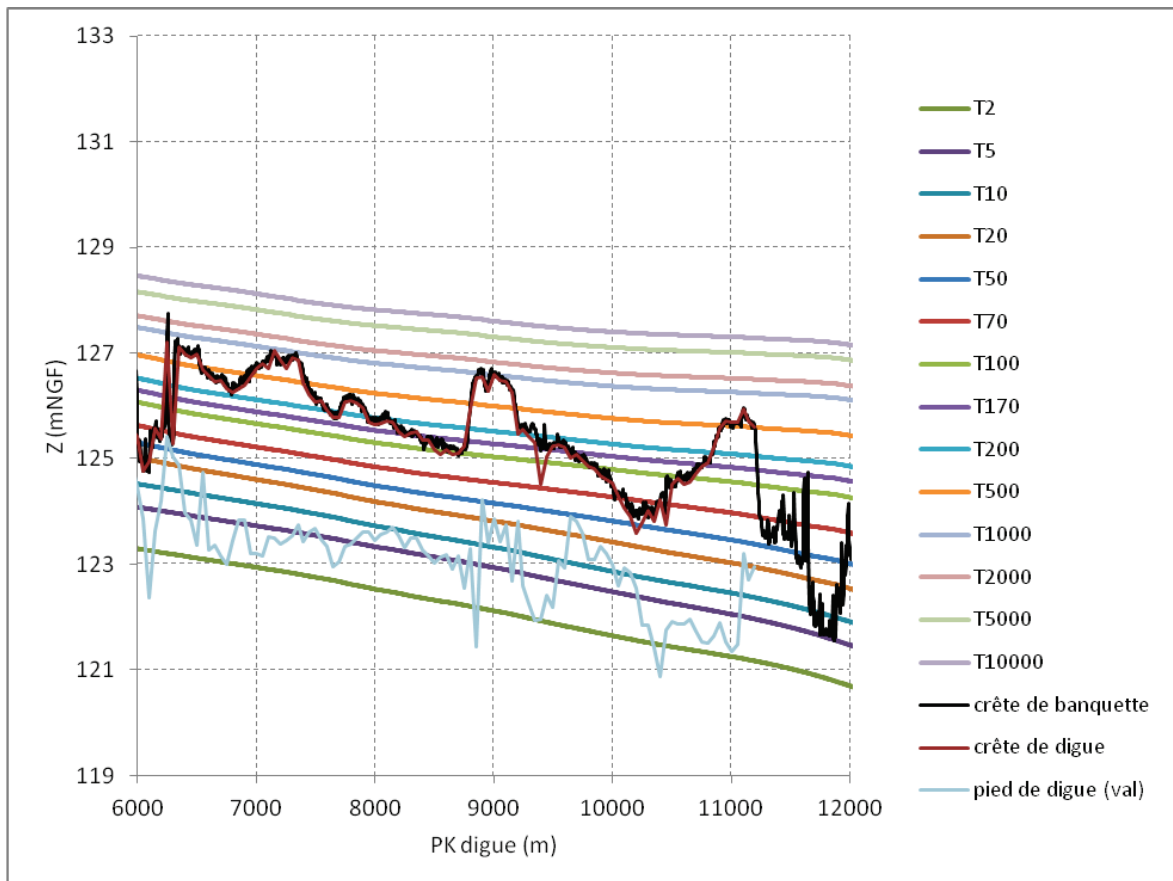


Figure 3 : lignes d'eau, profils en long de la crête de banquettes, crête de digue et pied de digue (PK 6000 à PK 12000)

La comparaison des lignes d'eau et du profil en long de la crête de digue mettent en évidence que les premières surverses seraient localisées en amont du val, au droit du déversoir de Saint-Martin et se produiraient pour une crue décennale, correspondant à un débit de $3000 \text{ m}^3/\text{s}$ au droit du val de Gien.

Le niveau atteint par la crue décennale définit donc le niveau de protection apparent du système d'endiguement du val de Gien. A une telle crue correspond une hauteur d'environ $4,6 \text{ m}$ à l'échelle de crue de Gien, située au milieu du val.

Un peu avant la crue décennale, le val commencerait également à être inondé par entrée d'eau au niveau du linéaire non endigué (remous au travers de la rivière la Notreure (ou la Bras)). En outre, un peu avant la crue quinquennale, soit un débit de $2600 \text{ m}^3/\text{s}$ au droit du val de Gien et une hauteur à l'échelle de crue de Gien de $4,1 \text{ m}$, le val serait également inondé par remous depuis l'extrémité aval du val, au niveau de l'exutoire de l'Aquiaulne.

Pour la crue décennale, correspondant au niveau de protection apparent du val de Gien, et en l'absence même de toute défaillance du système d'endiguement, une petite partie de la zone protégée serait quoiqu'il en soit inondée par remous de la Loire. Toutefois, pour une telle occurrence de crue, seule une dizaine des 1391 habitants situés dans la zone protégée seraient susceptibles d'être soumis à un tel phénomène.

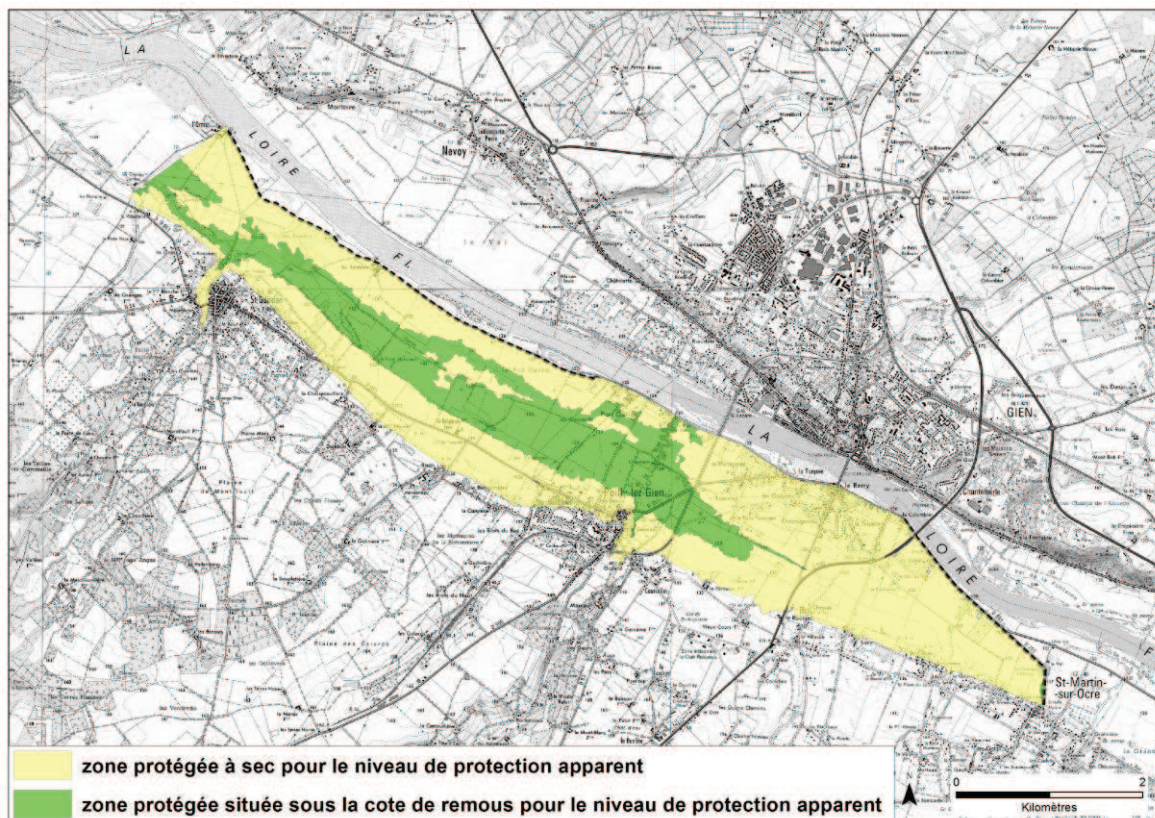


Figure 4 : zone protégée soumise au remous et zone protégée à sec pour le niveau de protection apparent

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.

Une zone de défaillance potentielle est mise en évidence au travers de cette analyse, à l'aval immédiat du déversoir de Saint-Martin où sont présentes une végétation abondante et une fosse d'érosion liée à une ancienne brèche, éléments susceptibles de favoriser le risque d'érosion interne.

Le niveau de sûreté du système d'endiguement correspond au niveau de la Loire associé à la crue quinquennale, correspondant à un débit de 2600 m³/s au niveau du val de Gien 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, localisé au droit du PK 350, ne peut plus être considérée comme négligeable. La probabilité de rupture est estimée à 1% pour la crue décennale et au-delà (l'entrée d'eau dans le val réduisant alors les charges hydrauliques subies par les levées).

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 la crue quinquennale, même s'il reste faible (1%).

A partir de la crue décennale, le déversoir de Saint-Martin entrerait quoiqu'il en soit en fonctionnement et provoquerait l'inondation progressive du val.

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 décennale.

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, quatre scénarios de brèches ont été simulés et analysés.

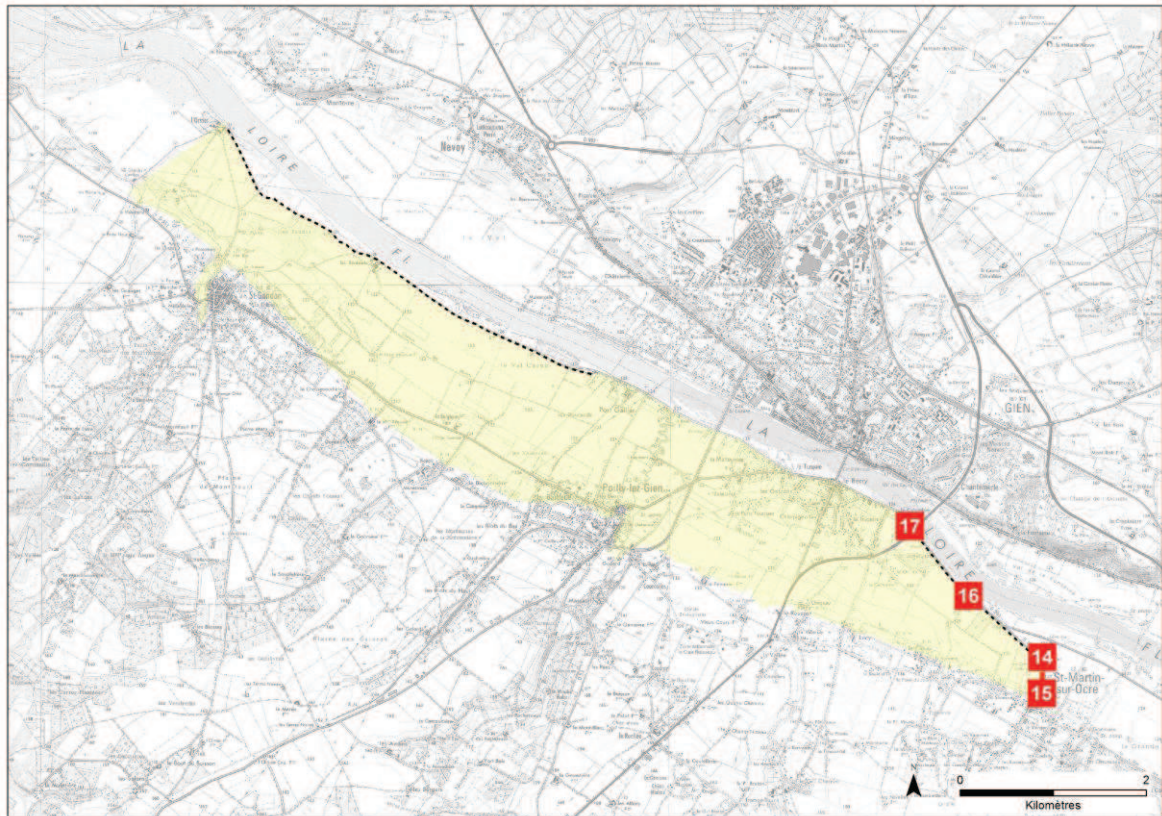


Figure 5 : Carte de localisation des scénarios retenus

Le scénario le plus probable est le scénario 14 « rupture en aval du déversoir ».

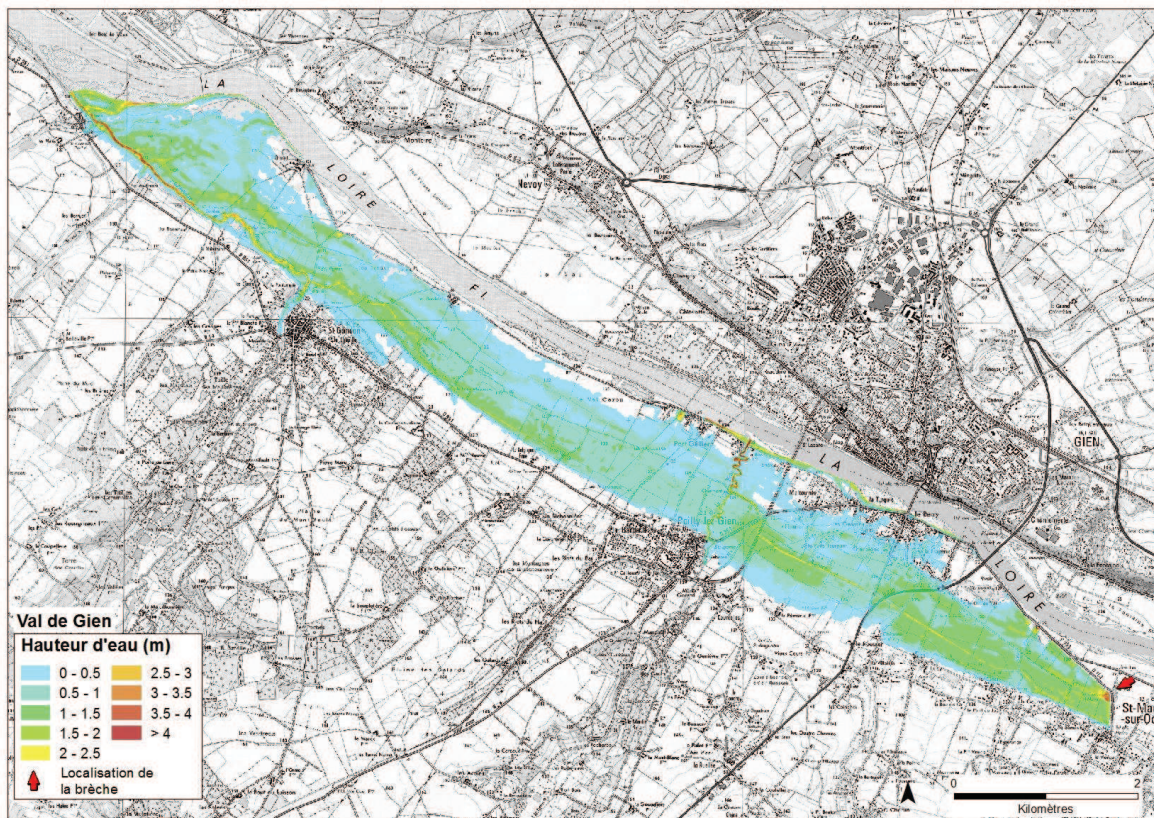


Figure 6 : Carte des hauteurs d'eau maximales - Scénario 14

Dans ce scénario, pour une crue décennale de la Loire, environ 450 personnes seraient inondées.

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 d'« acceptable » en termes de criticité.

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.

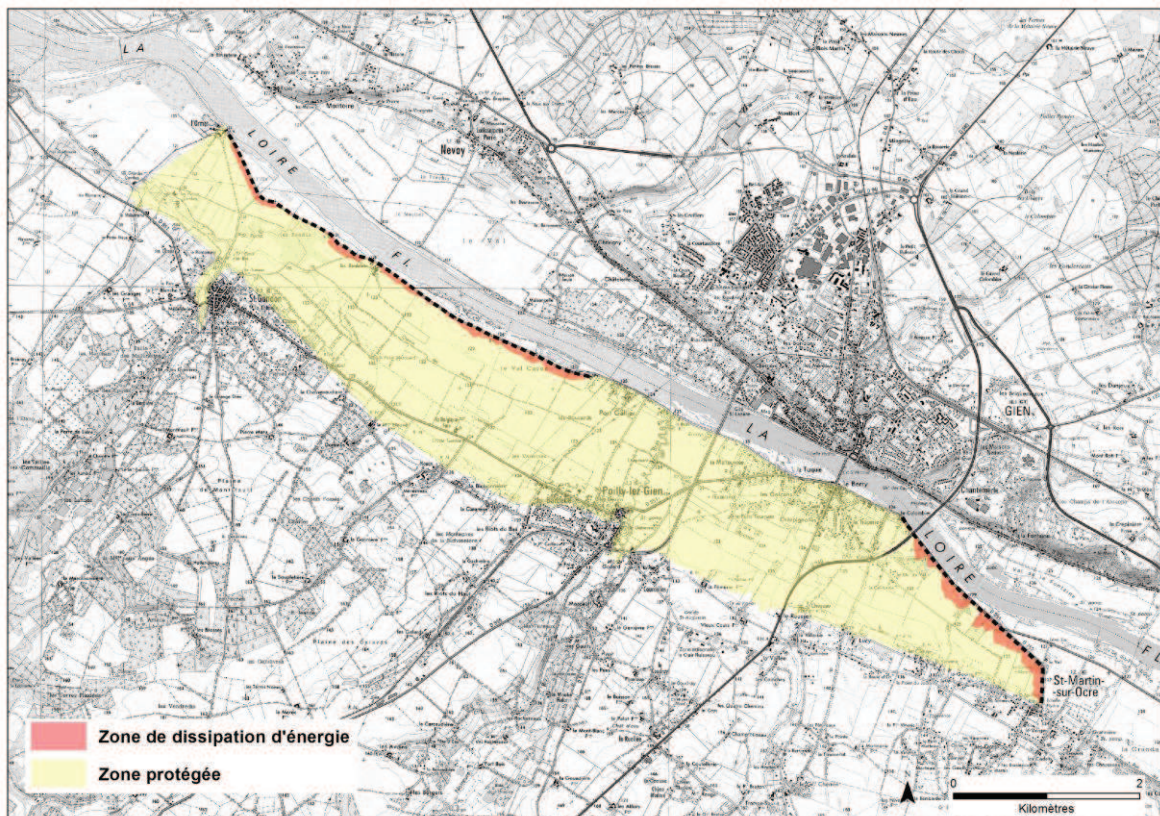


Figure 7 : zone de dissipation d'énergie en arrière des digues

L'emprise de cette zone reste limitée car, avant le fonctionnement du déversoir, la charge hydraulique est faible, après le fonctionnement du déversoir le niveau d'eau côté val est proche de celui observé en Loire.

0.6 MESURES DE RÉDUCTION DES RISQUES

L'étude de dangers du système d'endiguement du val de Gien 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, répositionnement, 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 prioritisées 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 côté val d'un épaulement filtrant et de puits de décompression au PK 350
 - o Suppression de la végétation au PK 350
- 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 Gien est de l'ordre de 500 000 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.