

**DDT DU LOIRET**

---

# **ÉTUDE DE DANGERS DU SYSTEME DE PROTECTION DU VAL DE CHATEAUNEUF-SUR-LOIRE CONTRE LES INONDATIONS DE LA LOIRE**

***Rapport d'étude***

800494\_PG\_CHATEAUNEUF



## 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 Châteauneuf 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 Châteauneuf s'étend sur environ 3,6 km en rive droite de la Loire, sur la commune de Châteauneuf-sur-Loire.

La zone protégée par le système d'endiguement du val de Châteauneuf, appelée communément val de Châteauneuf, moins de 10 personnes.

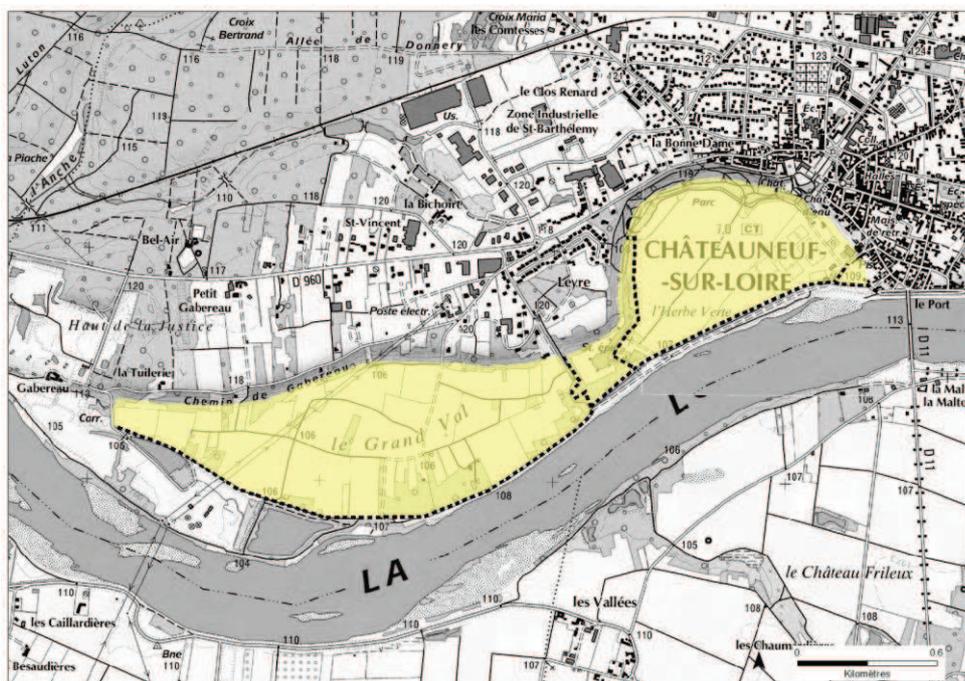


Figure 1 : zone protégée par le système d'endiguement du val de Châteauneuf

De par sa population protégée et de sa hauteur, le système d'endiguement du val de Châteauneuf devrait vraisemblablement être classé en digue de classe D<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Une digue est considérée de classe D si sa hauteur par rapport au terrain naturel est inférieure à 1 m ou si la population qu'elle protège est inférieure à 10 habitants.

## 0.2 COMPOSITION DU SYSTÈME D'ENDIGUEMENT DU VAL DE CHÂTEAUNEUF

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

Il est constitué :

- Du raccordement amont au coteau
- Du mur du château, propriété selon le tronçon de la commune de Châteauneuf, du Conseil général du Loiret et de Monsieur Yves PRUD'HOMME
- De la levée de Châteauneuf, 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 3,6 m
- De la levée de la station, ouvrage d'endiguement de second rang barrant transversalement le val

La levée de la Bonne Dame, autre ouvrage secondaire, est quant à elle exclue du système d'endiguement.

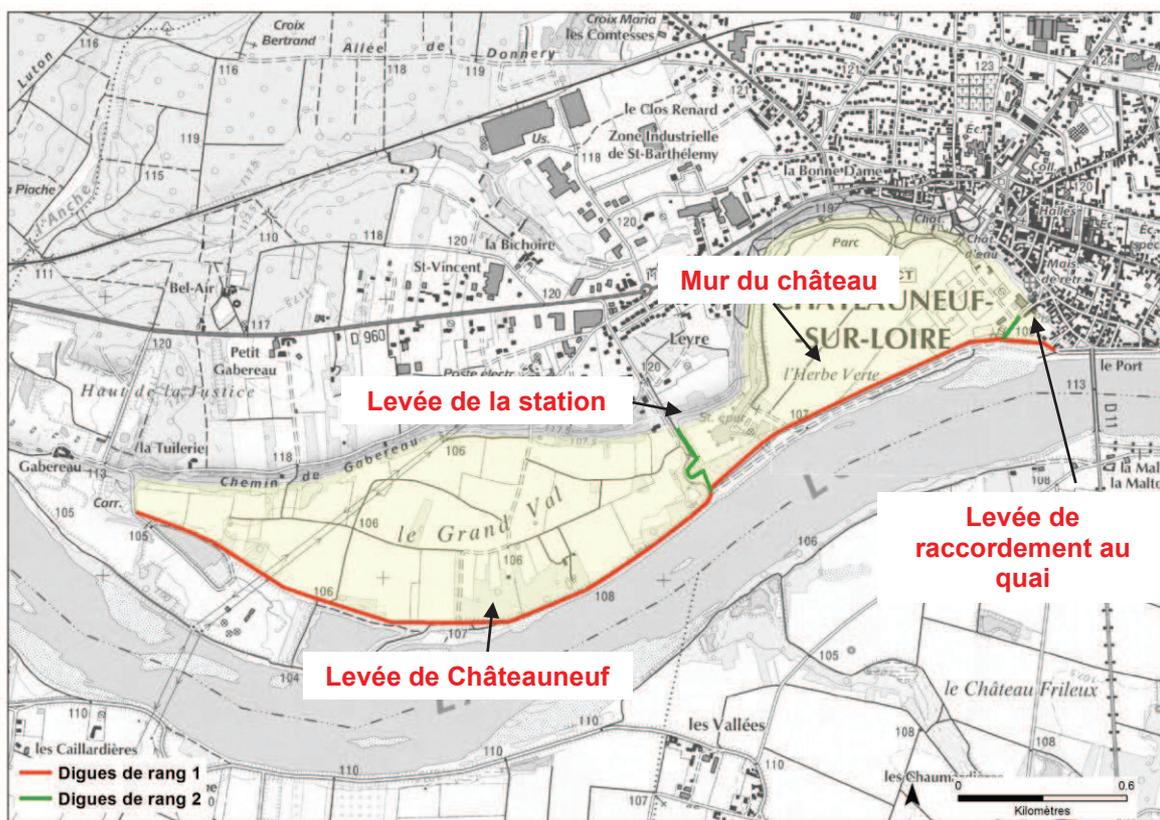


Figure 2 : ouvrages constitutifs du système d'endiguement du val de Châteauneuf

Sur la partie amont du linéaire (tronçon non domanial), l'ouvrage d'endiguement est constitué d'un mur remblayé à l'arrière.

Sur la partie aval du linéaire (tronçon domanial), l'ouvrage d'endiguement est constitué d'une levée en terre, non résistante à la surverse. Comme toutes les levées de la Loire, les levées du système d'endiguement du val de Châteauneuf sont des ouvrages anciens qui ont été construits et reconstruits par élévations et élargissements successifs depuis plusieurs siècles.

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.

Les ouvrages du système d'endiguement du val de Châteauneuf sont notamment caractérisés par la présence d'une végétation ligneuse abondante sur une part importante de leur linéaire, constituant en cela un facteur favorable au risque de rupture par érosion interne.

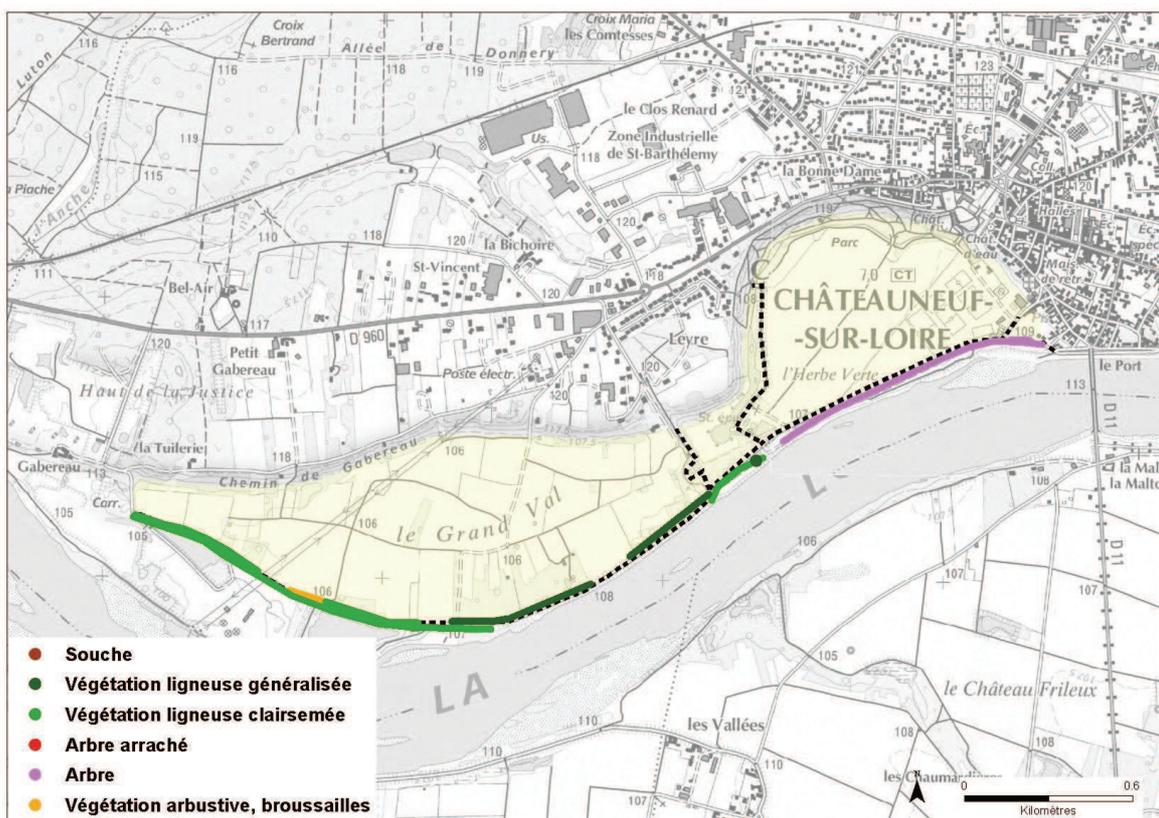


Figure 3 : localisation et caractérisation de la végétation présente sur le système d'endiguement du val de Châteauneuf

### 0.3 DANGERS LIÉS AU SYSTÈME D'ENDIGUEMENT DU VAL DE CHÂTEAUNEUF

Les dangers liés au système d'endiguement du val de Châteauneuf 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 CHÂTEAUNEUF

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 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 m<sup>3</sup>/s à 14 200 m<sup>3</sup>/s. Il a été supposé dans les calculs qu'aucune brèche ne se produisait en amont et en aval du val de Châteauneuf.

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.

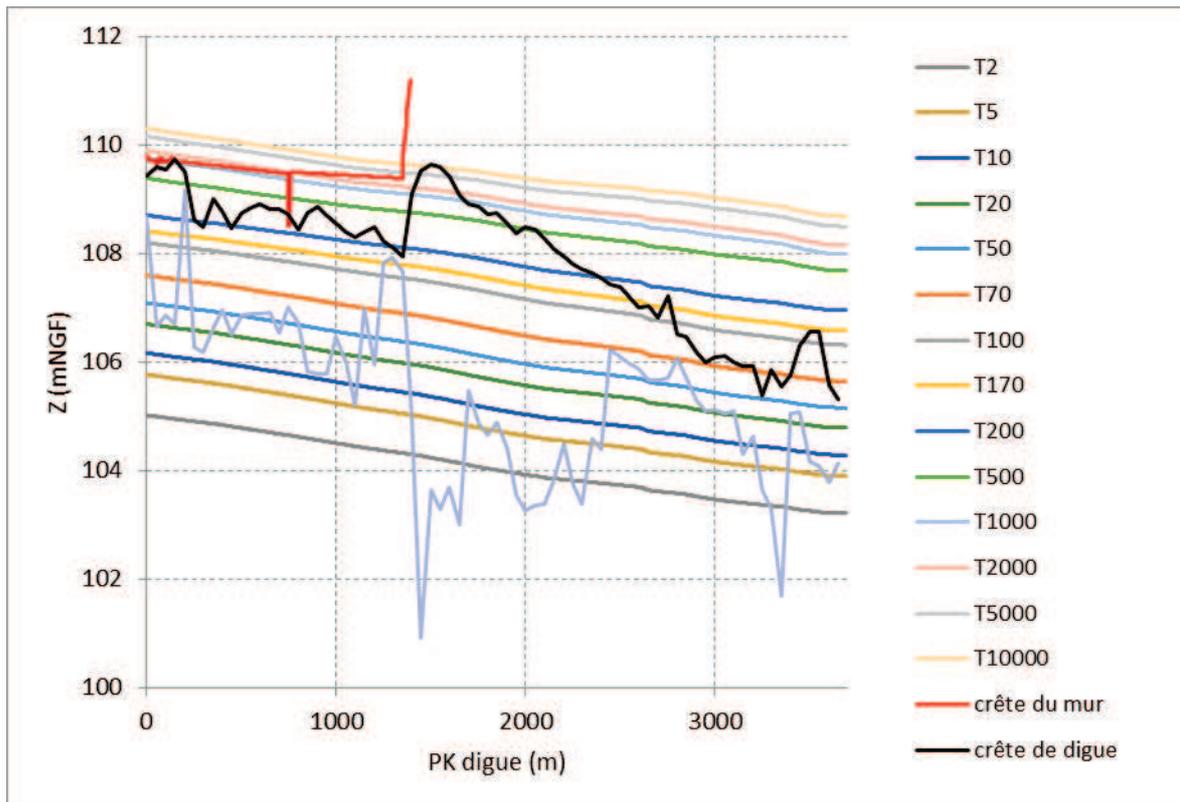


Figure 4 : lignes d'eau, profils en long de la crête de banquettes, crête de digue et pied de digue

Le comparatif des lignes d'eau et du profil en long de la crête de digue mettent en évidence que les premières surverses en amont du val se produiraient pour une crue de période de retour de l'ordre de 250 ans, correspondant à un débit au bec d'Allier d'environ 7200 m<sup>3</sup>/s.

Le niveau atteint par la crue de période de retour 250 ans définit donc le niveau de protection apparent du système d'endiguement du val de Châteauneuf. A une telle crue correspond une hauteur de 6,9 m à l'échelle de crue de Gien, située une trentaine de kilomètres en amont.

Toutefois, à partir de la crue cinquantennale, soit un débit de 4200 m<sup>3</sup>/s au droit du bec d'allier et une hauteur à l'échelle de crue de Gien est de 5,4 m, la zone protégée serait en partie inondée par remous depuis le linéaire non endigué situé à l'extrémité aval du val.

Entre la crue cinquantennale et la crue de période de retour 250 ans, le point d'établissement du remous remontrait d'environ 1,5 km, la digue étant progressivement submergée de l'aval vers l'amont.

Pour la crue de période de retour 250 ans, correspondant au niveau de protection apparent du val de Châteauneuf, et en l'absence même de toute défaillance du système d'endiguement, la quasi-totalité de la zone protégée serait quoiqu'il en soit inondée par remous de la Loire. Pour une telle occurrence de crue, environ la moitié de la population située dans la zone protégée serait susceptible d'être soumise à un tel phénomène.

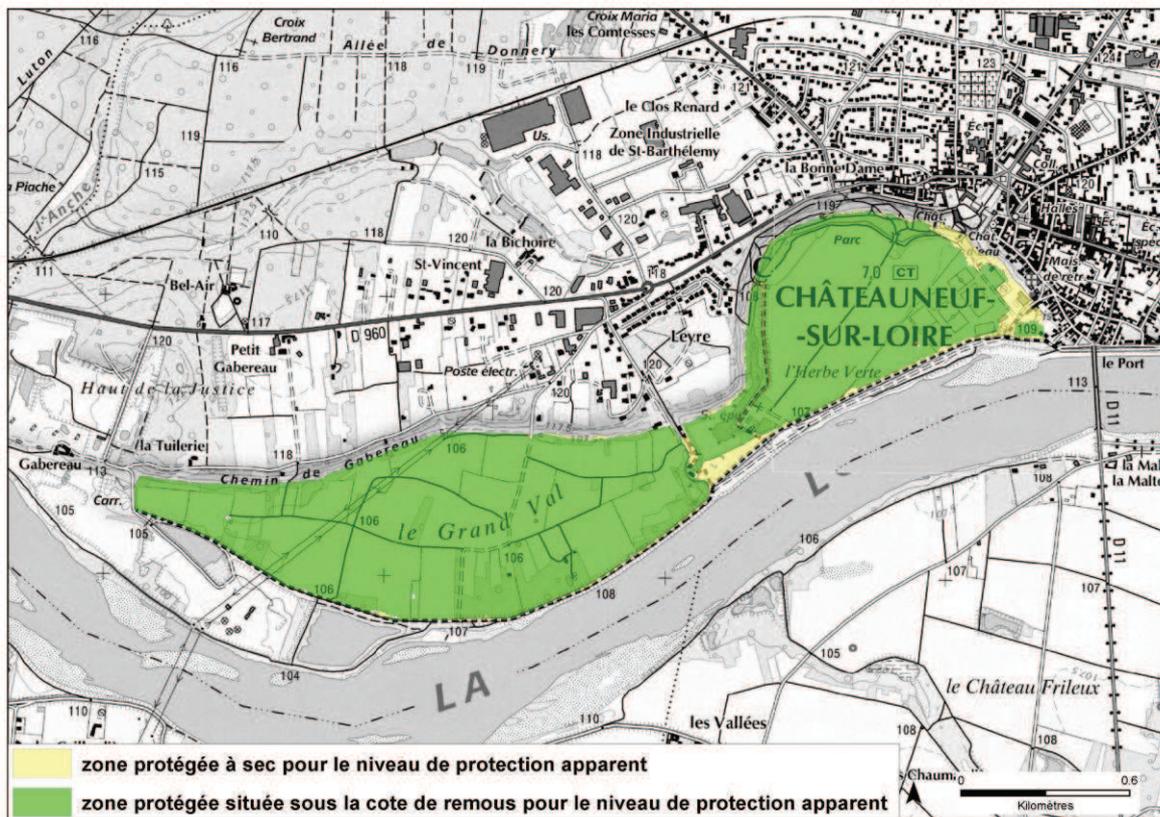


Figure 5 : zone protégée inondable par remous et zone protégée à sec pour le niveau de protection apparent

#### 0.4.2 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 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 d'aléa de rupture.

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

- Le secteur amont de la levée domaniale de Châteauneuf où sont présentes une végétation abondante ainsi qu'une profonde fosse d'érosion liée à une ancienne brèche, susceptibles de favoriser le risque d'érosion interne
- Le tronçon aval du système d'endiguement, caractérisé par un profil en long hétérogène et une végétation abondante de part et d'autre de la digue

**Le niveau de sûreté du système d'endiguement est de 2 ans, soit 1900 m<sup>3</sup>/s au droit du val, correspondant à une hauteur de 3,3 m à l'échelle de crue de Gien.** Au-delà de cette occurrence, la probabilité de rupture au droit du tronçon élémentaire de digue le plus fragile (en l'occurrence secteur amont) ne peut plus être considéré comme négligeable. La probabilité de rupture est estimée à 3% pour la crue quinquennale, 13% pour la crue décennale et est proche de 70% à partir de la crue vicennale.

### 0.4.3 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 biennale et devient même très probable à partir de la crue vicennale, soit bien en deçà du niveau de protection apparent, correspondant à celui atteint pour la crue de période de retour 250 ans, que le profil en long de la digue faisait ressortir. La fiabilité du système d'endiguement du val de Châteauneuf est donc loin d'être atteinte.

A partir de la crue de période de retour 250 ans, la digue entrerait quoiqu'il en soit en surverse ce qui entraînerait de manière quasi-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 la crue quinquennale.

## 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, deux scénarios de brèches ont été simulés et analysés.

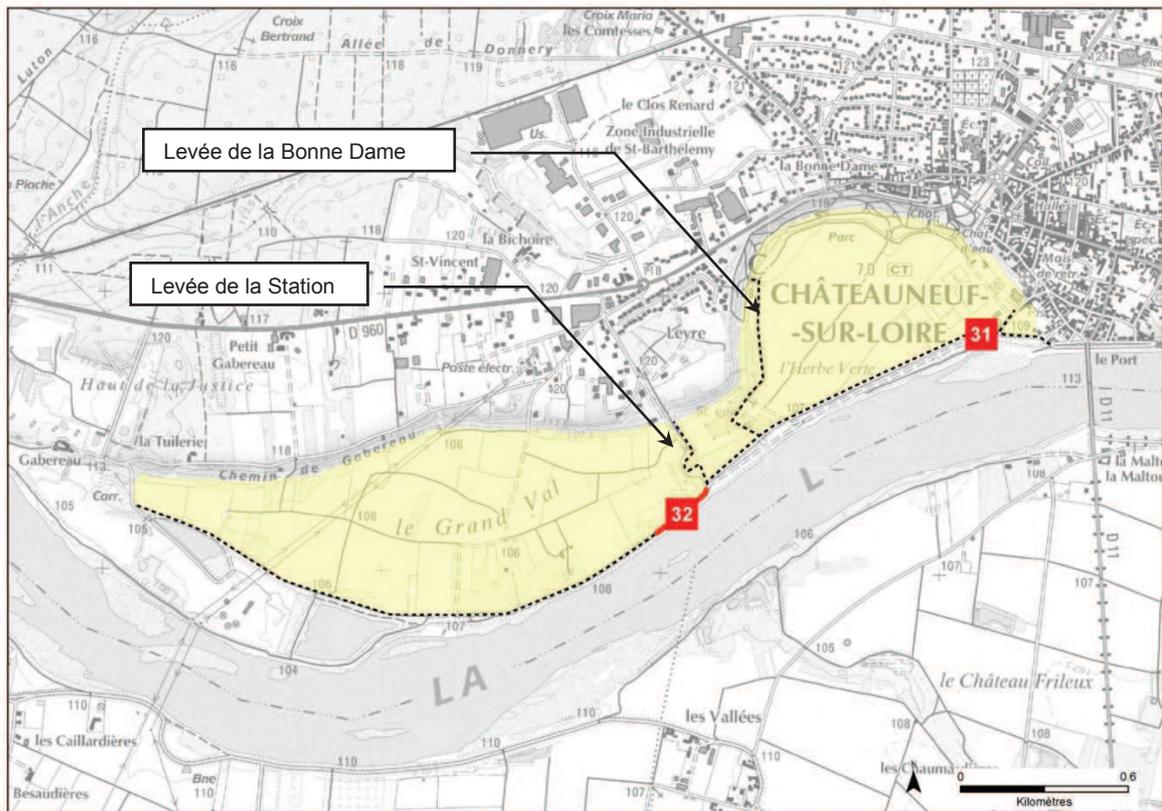


Figure 6 : Carte de localisation des scénarios retenus

Le scénario le plus pénalisant en termes de gravité (enjeux impactés) est le scénario 31 « rupture du mur du château ».

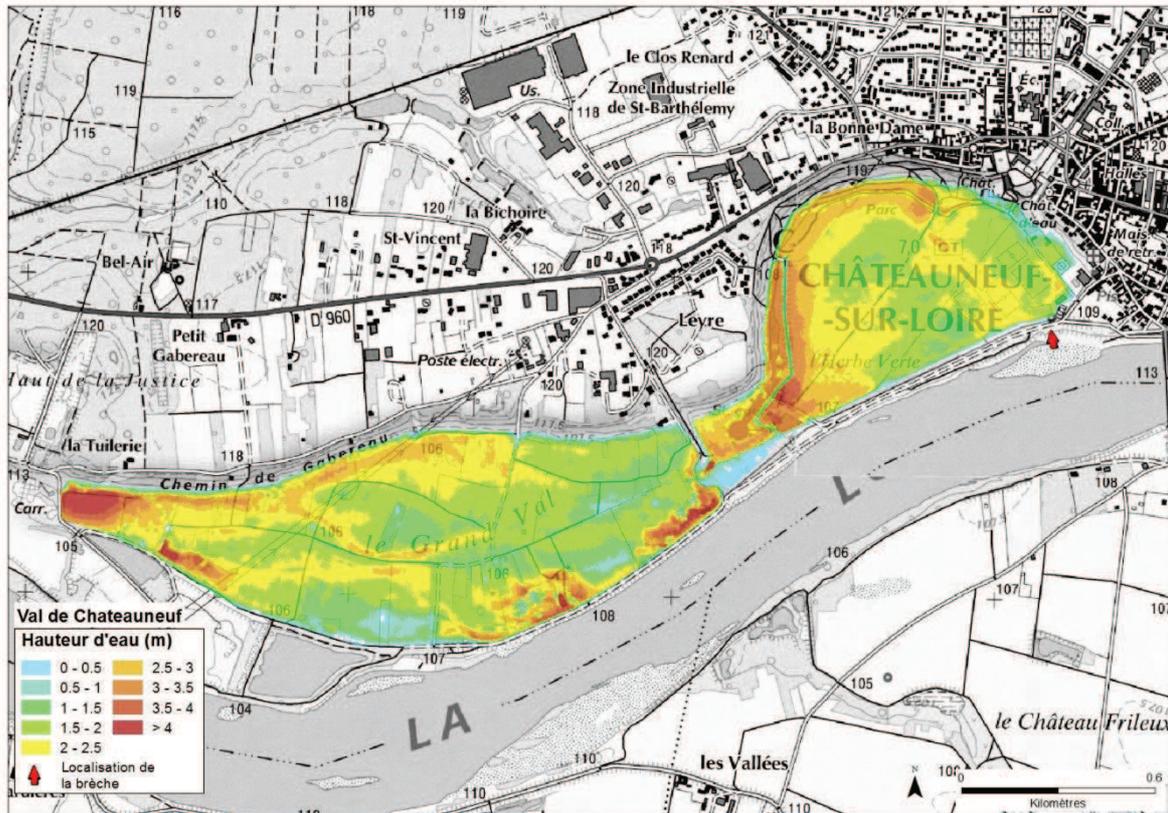


Figure 7 : Carte des hauteurs d'eau maximales - Scénario 31

Dans ce scénario, pour une crue de période de retour 200 ans, l'ensemble du val de Châteauneuf serait inondé.

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 » 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.

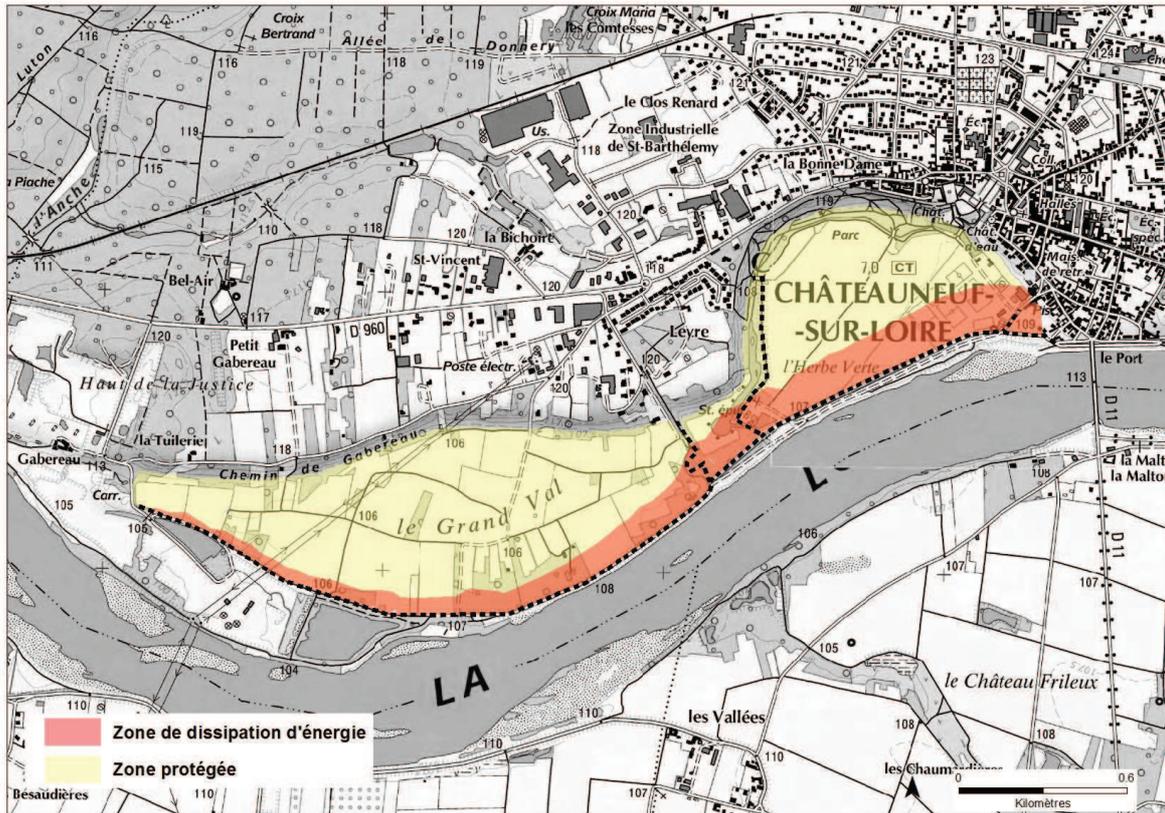


Figure 8 : zone de dissipation d'énergie en arrière des digues

## 0.6 MESURES DE RÉDUCTION DES RISQUES

L'étude de dangers du système d'endiguement du val de Châteauneuf 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 Mise en place d'un épaulement filtrant et de puits de décompression au droit des PK1400 et 1450
  - o Reconstitution du corps de digue après suppression de la végétation des PK 2300 à 2450 et des PK 3200 à 3600
  - o Reconstitution de la levée non domaniale avec une pente de talus de 3H/2V à 2H/1V avec mise en place d'un grillage anti-fouisseur
  - o Suppression de la végétation ancienne et existante sur la levée non domaniale
  - o Suppression de la végétation au droit du P1400 et 1450, des PK 2300 à 2450 et des PK 3200 à 3600
- 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 Châteauneuf est de l'ordre de 2,2 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'y apporter des éléments de réponse à ces questions.