

RAPPORT

**DREAL Centre
SLBLB**

**Département
Etudes et
Travaux
Loire**

Étude de dangers de la levée d'Orléans digues de classe A

Résumé non technique

Décembre 2012



Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie

Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
2-1	21/12/2012	Version transmise au maître d'ouvrage pour instruction

Étude dirigée par

Jean MAURIN – DREAL Centre / SLBLB / DETL
<i>Tel. : 02-36-17-41-81 / fax : 02-36-41-01</i>
<i>Mél. : jean.maurin@developpement-durable.gouv.fr</i>
<i>Agrément « digues et petits barrages » N°21d arrêté du 7 avril 2011 publié au JORF le 13 mai 2011</i>

Rédacteurs

Jean Maurin, Arnaud Boulay, Rémy Tourment (IRSTEA), Bruno Beullac (IRSTEA).

Relecteur

Patrick Ferreira (DDT 45) ; Emmanuel Didon ; Pascaline Cousin ; Sébastien Patouillard

0. - Résumé non-technique de l'Étude de dangers

0.1. - Contexte et objectifs de l'Étude de dangers

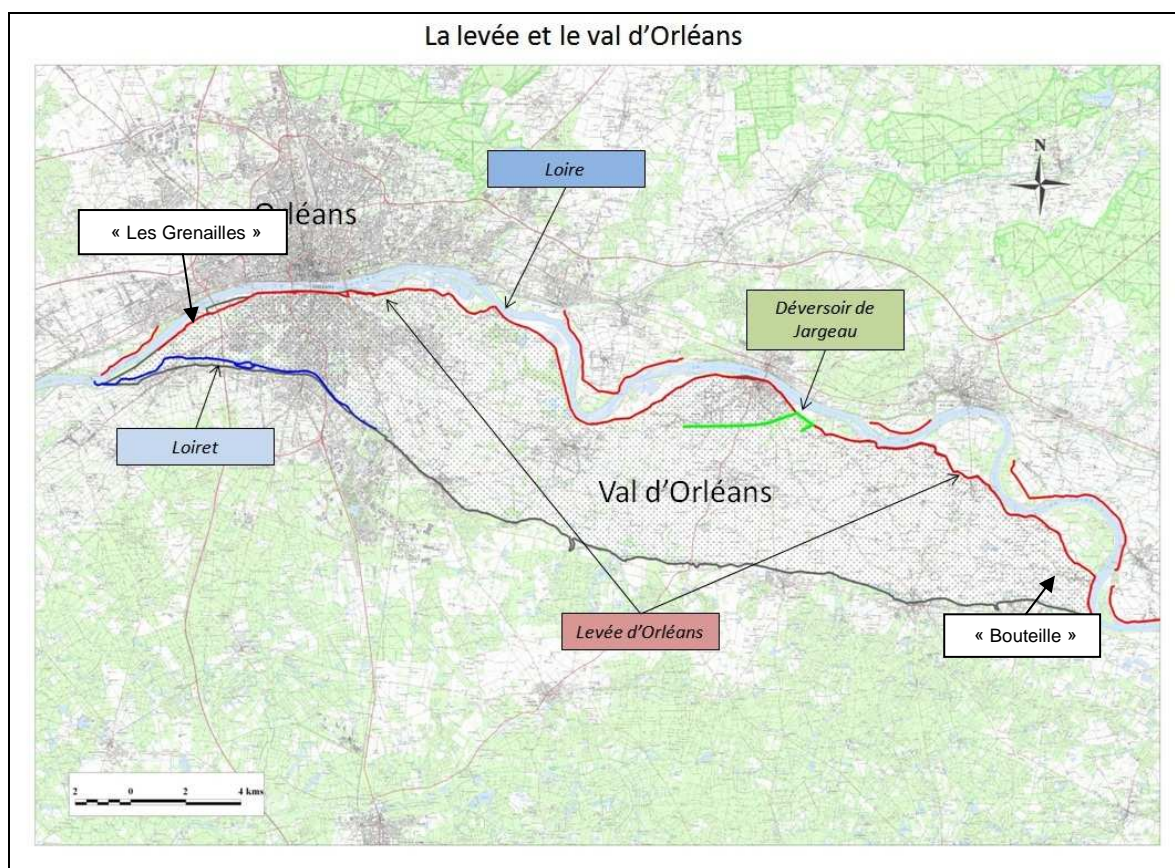
L'Étude de dangers de la levée d'Orléans a été réalisée par la DREAL Centre, Département Études et Travaux Loire. Elle répond à une obligation réglementaire (art. R. 214-115 du code de l'environnement) et fait suite à l'arrêté du préfet du Loiret du 24 novembre 2011.

Elle répond aux objectifs suivants :

- déterminer les niveaux de sûreté et de protection de l'ouvrage « la Levée d'Orléans » ;
- définir et préciser la surveillance des ouvrages et équipements qui composent la levée, notamment en période de crue ;
- définir et hiérarchiser les travaux de renforcement et de réparation à programmer ;
- alimenter les portés à connaissance des Plans de Prévention du Risque Inondation et les réflexions liées à la gestion de crise ;

La levée d'Orléans s'étend en rive gauche de la Loire dans le département du Loiret, du lieu-dit « Bouteille », commune de Guilly, jusqu'au lieu-dit « les Grenailles », commune de Saint-Pryvé - Saint-Mesmin. Propriété de l'État au titre du Domaine Public Fluvial ainsi que les terrains sur lesquels ses fondations sont assises, elle est gérée, par délégation du préfet du Loiret, par La Direction Départementale des Territoires du Loiret (DDT 45) et a été classée en digue de classe A¹ au titre de l'article R. 214 du code de l'environnement.

¹ Une digue est considérée de classe A si sa hauteur par rapport au terrain naturel est supérieure à un mètre et la population protégée par la digue supérieure à 50 000 habitants.



Carte 1 : la levée et le val d'Orléans

La zone protégée par la levée d'Orléans, appelée communément val d'Orléans, rassemble plus de 63 000 habitants et près de 15 500 salariés. Le classement en digue de classe A de la levée n'est donc pas remis en cause.

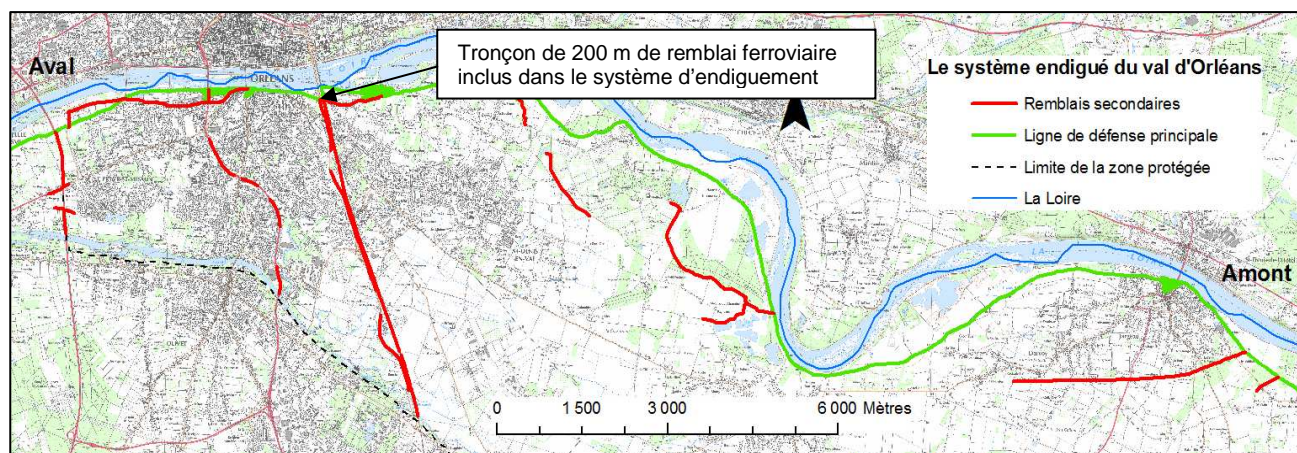
0.2. - Composition de la levée d'Orléans

La levée d'Orléans est un système d'endiguement ouvert à l'aval, équipé d'un déversoir situé sur la commune de Jargeau. Elle a pour fonction de protéger, jusqu'à un certain niveau de crue, la zone constituée par l'ensemble du val d'Orléans, à l'exception de sa partie aval délimitée par l'autoroute A71 qui est inondée par le remous des eaux de la Loire dans le Loiret. Elle a été édifiée sur une longueur d'environ 43,5 km et une hauteur maximum de 7,50 m pour ce qui concerne la ligne de défense principale.

Le système d'endiguement compte également 4,6 km de digue d'entonnement du déversoir de Jargeau qui participent indirectement à la protection de la ville de Jargeau en cas d'inondation amont du val d'Orléans. 5,1 km de digues secondaires (levée de la Chevauchée et Vieille Levée) sont extraites du système car transparentes ou devant être mises en transparence.

La zone protégée abrite 7,3 km de remblais d'infrastructures de transport ayant une incidence sur les écoulements en cas d'entrée d'eau dans le val (5,6 km de remblai ferroviaire et 1,7 km de remblai autoroutier). On compte également plus de 6 km d'anciens systèmes de digue qui ne participent plus à la protection des populations (secteurs de Sigloy, Sandillon et Saint-Denis-en-Val).

L'analyse de la topographie de la levée et de son fonctionnement hydraulique met en évidence l'existence d'un tronçon de **200 mètres de remblai ferroviaire** qui participe directement à la ligne de défense principale du val d'Orléans.



Carte 2 : ligne de défense principale et ouvrages secondaires (source IRSTEA)

Comme toutes les levées de la Loire, la levée d'Orléans est un ouvrage ancien qui a été construit et reconstruit par élévations et élargissements successifs depuis le Moyen Âge. Il s'agit pour la plupart du linéaire d'un ouvrage en terre, non résistant à la surverse. Les résultats des études visant à déterminer la structure du système d'endiguement ont permis de mettre en évidence trois profils type de la levée :

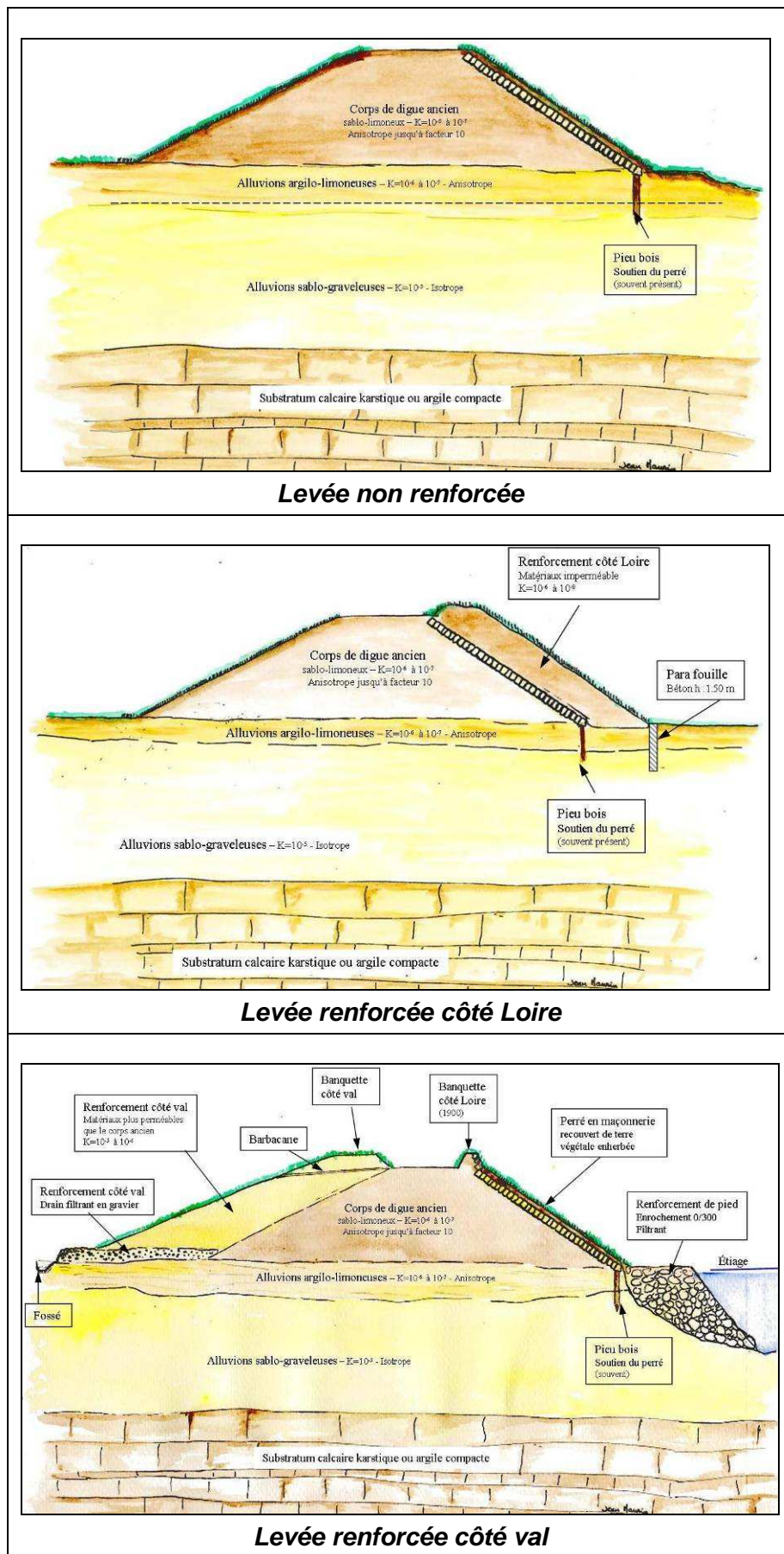


Figure 1 : profils en travers type de la levée d'Orléans

La connaissance initiale de l'ouvrage, les deux Visites Techniques Approfondies déjà réalisées et les investigations complémentaires menées dans le cadre de l'*Étude de dangers* ont permis de mettre en évidence de nombreuses anomalies pouvant influencer sur la tenue de 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.

L'analyse des documents d'archives concernant les grandes crues de la Loire de 1846, 1856 et 1866 a également montré le faible rôle de protection apporté par les banquettes côté Loire.

0.3. - Dangers liés à la levée d'Orléans

De ces premiers constats et considérant que les dangers afférents à la levée d'Orléans résultent principalement de l'irruption accidentelle d'eau à l'intérieur du val lors d'une crue de la Loire, les différentes situations qui pourraient être à l'origine d'entrées d'eau sont les suivantes (par ordre de gravité décroissante) :

- l'ouverture d'une brèche partielle ou totale sur un tronçon de la levée ;
- le fonctionnement prématuré du déversoir de Jargeau ou une surverse sans brèche au-dessus de la crête d'un tronçon de levée ;
- le dysfonctionnement des clapets anti-retour des canalisations traversant la levée.

0.4. - Niveau de protection et niveau de sûreté de la levée d'Orléans

Le **niveau de protection** est le niveau d'eau dans le cours d'eau au-dessus duquel la zone protégée commence à être inondée sans rupture préalable de la digue, par débordement au-dessus du sommet de la digue ou par un déversoir.

Le **niveau de sûreté** se définit comme le niveau d'eau dans le cours d'eau au-dessus duquel la probabilité de rupture de l'ouvrage n'est plus considérée comme négligeable.

La notion de sûreté renvoie au risque de rupture, la notion de protection à la surverse. Dans un système d'endiguement parfaitement fiable, le niveau de sûreté est supérieur ou égal au niveau de protection. Cela revient à dire que la rupture avant surverse est improbable. Le risque de rupture n'apparaît que lorsque la lame d'eau débordante atteint une hauteur significative ou, dans le cas de digue équipée d'un déversoir, que ce dernier a atteint sa capacité maximale.

Dans le cas des digues de Loire, le risque de rupture avant surverse ou avant fonctionnement des déversoirs ne pouvant être considéré comme négligeable, le niveau de sûreté est généralement inférieur au niveau de protection. Pour ne pas entretenir l'illusion d'une protection efficace pour un tel niveau d'eau dans le fleuve, on parlera de **niveau de protection apparent**.

0.4.1. Objectif de protection historique

Le niveau de protection historique de la levée d'Orléans est lié au déversoir de Jargeau, construit entre 1878 et 1882. Ce dernier a été conçu de façon à assurer la protection des digues situées en aval pour des crues identiques ou supérieures à celle de décembre 1825, plus forte crue connue qui n'ait pas rompu les levées (hauteur de 5,98 m à l'échelle hydrographique d'Orléans pour un débit d'environ 5 100 m³/s).

Depuis, les lignes d'eau en crue ont beaucoup changé du fait de l'évolution morphologique du lit de la Loire, conséquence des ouvrages de navigation qui ont été réalisés au XIX^e siècle (épis, duits, chevrettes barrant un bras, etc.) et de l'extraction massive de matériaux en deuxième partie du XX^e siècle. Le fonctionnement normal du déversoir de Jargeau débiterait désormais pour un débit d'environ 7 500 m³/s au droit de celui-ci, alors que les premières surverses au-dessus de la levée d'Orléans, donc les possibilités de ruptures, apparaîtraient en amont du val aux alentours de 6 000 m³/s. Le déversoir ne remplit donc plus sa fonction de protéger la levée d'Orléans des surverses, et il ne permet plus de définir l'objectif de protection du système d'endiguement.

0.4.2. Niveau de protection apparent

Sept niveaux de crues théoriques, représentant les probabilités d'occurrence annuelle au Bec d'Allier de : 1/50, 1/70, 1/100, 1/170, 1/200, 1/500, 1/1000², ont été modélisés pour déterminer les zones de surverse du système d'endiguement et par conséquent le niveau de protection apparent. Chaque crue a été qualifiée par son débit et sa hauteur d'eau à l'échelle d'Orléans :

Crue	T50	T70	T100	T170	T200	T500	T1000
Cote NGF à l'échelle d'Orléans – (m NGF)	94.64	95.15	95.82	96.09	96.25	96.73	96.91
Hauteur estimée à l'échelle d'Orléans ³ – (m)	4.16	4.67	5.34	5.61	5.77	6.25	6.43
Débit ⁴ à Orléans – (m ³ /s)	4 040	4 660	5 520	5 900	6 100	6 790	6 990

Tableau 1 : crues théoriques utilisées et cotes associées à l'échelle limnimétrique d'Orléans

² Les occurrences de crue sont estimées au Bec d'Allier.

³ Echelle historique du pont George V. Le « zéro » de l'échelle est à la cote 90,48 m NGF.

⁴ Débits calculés par le modèle hydraulique LM10

La comparaison des lignes d'eau et de la crête de digue sans prise en compte des banquettes côté Loire amène à analyser les résultats avec prudence.

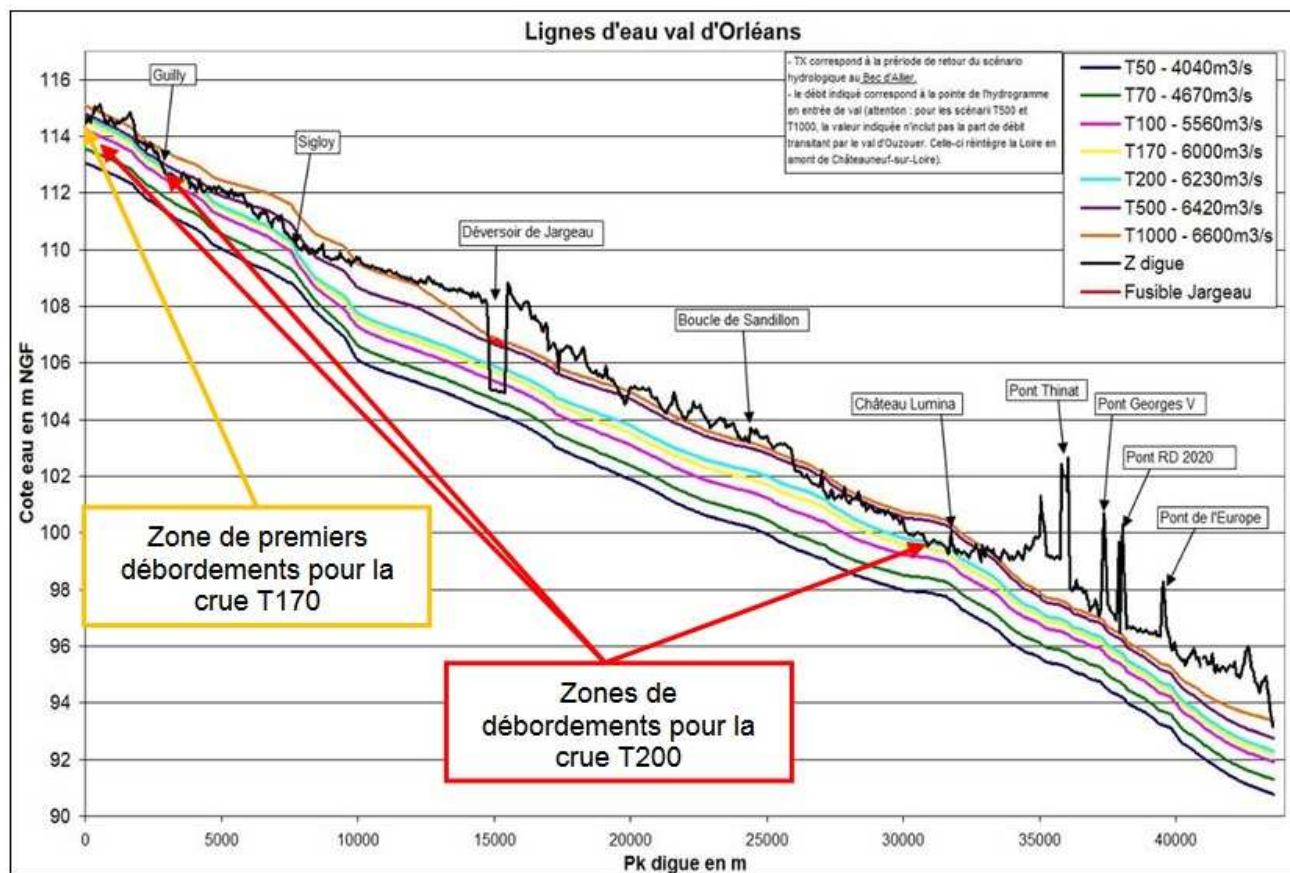


Figure 2 : profil en long de la crête de digue et lignes d'eau des crues théoriques

Bien que les premiers débordements se produisent pour une crue de période de retour 170 ans à l'amont du val (lieu-dit « Bouteille », commune de Guilly), le niveau de protection de la levée d'Orléans est associé à la **crue T200** du fait de lames d'eau plus significatives au-dessus de la crête de digue. Ce niveau correspond à un débit à Orléans de 6 100 m³/s et une hauteur à l'échelle historique du pont George V de 5,77 mètres, soit 96,25 mètres NGF.

0.4.3. Défaillance du système d'endiguement et niveau de sûreté

L'analyse des fonctions de chaque composant du système d'endiguement, l'examen de leur défaillance et des effets engendrés ont permis de mettre en évidence cinq modes de rupture de digue :

- La rupture liée à la surverse
- La rupture liée à l'érosion interne
- La rupture liée au glissement de talus
- La rupture liée à l'érosion externe
- La rupture liée au soulèvement hydraulique

L'estimation des probabilités de rupture pour chaque mode et chaque crue considérée a été conduite par pas d'espace de 50 mètres sur l'ensemble de la levée d'Orléans via un modèle de calcul spécifique qui intègre les anomalies évoquées ci-avant.

La zone de défaillance principalement mise en avant dans l'*Étude de dangers* est située à l'amont du système d'endiguement sur la commune de Guilly. Ce secteur non renforcé, dont la probabilité de rupture est qualifiée de « moyennement probable », est sensible au glissement de talus côté val, au soulèvement hydraulique, à l'érosion interne et, comme vu précédemment, à la surverse dès une crue de période de retour 170 ans.

Dans ce secteur et pour deux autres sites, la probabilité de rupture n'est plus considérée comme négligeable pour une crue de période de retour 70 ans, puisqu'elle est estimée à environ 30%. Le niveau d'eau associé à cette crue détermine le niveau de sûreté de la levée d'Orléans.

Le niveau de sûreté de la levée d'Orléans est atteint pour une crue de 4 670 m³/s. Ce débit correspond une crue de période de retour 70 ans et à une hauteur d'eau à l'échelle d'Orléans de 95,15 m NGF, soit une cote de 4,67 m à la lecture de l'échelle principale du pont George V.

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

Les analyses fonctionnelles et géotechniques de la digue d'Orléans réalisées pour la présente étude de dangers conduisent à qualifier les niveaux de protection et de sûreté de l'ouvrage, comme rapporté précédemment. Ce faisant, elles permettent d'imaginer le fonctionnement probable du système d'endiguement dans son état actuel.

Pour des crues de débit compris entre ceux des crues T70 et T200, la digue pourrait être défaillante et céder, sans pour autant que l'on observe des surverses sur les ouvrages. La situation la plus préoccupante est à l'amont du val, sur la commune de Guilly où la digue présente plusieurs défauts (végétation ancienne, canalisations,...). Néanmoins, des défaillances pourraient être observées sur d'autres secteurs. Par ailleurs, pour les crues les plus fortes dans cette gamme de débit, des surverses localisées et limitées pourraient être observées. Le risque qu'elles entraînent des ruptures est considéré comme faible. Le secteur aval du val d'Orléans serait dans tous les cas inondé par remous de la Loire dans le Loiret et remontée de nappe, ce qui est attendu dans la mesure où il n'appartient pas à la zone protégée par la digue.

Pour des crues de débit supérieur à celui de la crue T200, le système d'endiguement serait mis en péril avec des surverses entraînant la rupture de l'ouvrage. Dès lors que l'on observe une crue d'une intensité suffisante pour dépasser les ouvrages, la probabilité de leur rupture est quasi-certaine. Plusieurs secteurs de surverse ont été identifiés : à l'amont du val à Guilly, dans le méandre de Sigloy, et sur la commune de Saint-Denis-en-Val au lieu-dit « Château-Lumina », à proximité de l'agglomération d'Orléans.

Le déversoir de Jargeau ne jouerait, dans aucun scénario, le rôle pour lequel il a été conçu, à savoir éviter les ruptures de la levée en permettant à l'eau d'entrer dans le val. En effet, il entrerait en fonctionnement trop tardivement pour protéger la digue. Il pourrait également fonctionner prématurément du fait d'une faiblesse identifiée dans son fusible. Néanmoins, ce fonctionnement prématuré éventuel, n'est pas de nature à compenser le défaut de fonctionnement de l'ouvrage.

En conclusion, la digue d'Orléans présenterait probablement aujourd'hui pour des crues supérieures en débit à une crue de type T70, un mode de fonctionnement préoccupant et anormal. On pourrait observer soit des défaillances de l'ouvrage avant surverse, soit après surverse, selon la violence de l'événement.

0.5. - Caractérisation de la gravité du risque associé à la défaillance du système d'endiguement

0.5.1. A l'échelle du val

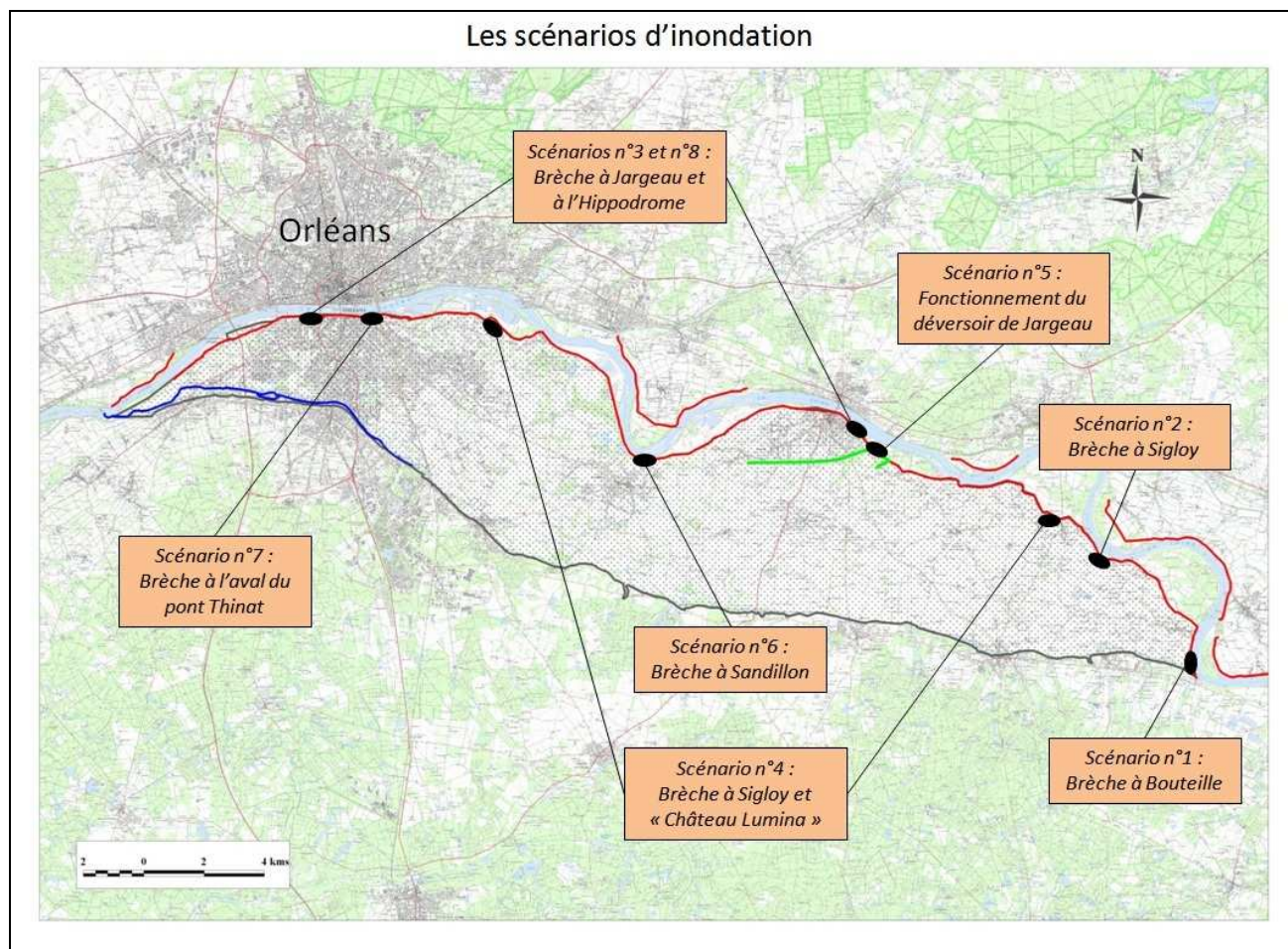
L'étude de dangers évalue la gravité du risque d'inondation dans le val, à travers différents scénarios d'inondation qui ont été simulés avec des outils de modélisation hydraulique.

Ces scénarios ont vocation à approcher la gravité (nombre de personnes touchées par l'inondation) et la criticité (gravité combinée à la probabilité de rupture de la digue) pour différents cas de brèches de la levée.

Le choix des scénarios d'inondation à étudier s'appuie sur plusieurs critères :

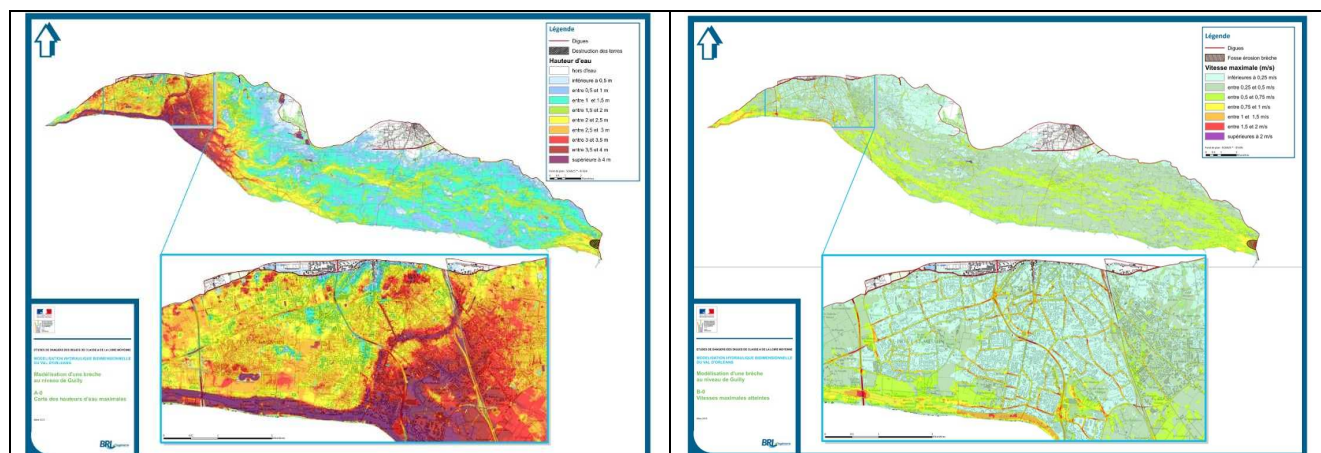
- les résultats de l'analyse des composants du système d'endiguement et de leur défaillance ;
- le constat des anomalies recensées ;
- la localisation des enjeux ;
- la connaissance du comportement hydraulique global de la zone protégée ;
- les probabilités de rupture du système d'endiguement.

Au total, huit scénarios d'inondation ont été simulés par modélisation hydraulique bidimensionnelle et analysés.



Carte 3 : scénarios d'inondation étudiés dans l'Étude de dangers de la levée d'Orléans

Le scénario d'inondation le plus pénalisant en terme d'enjeux impactés et pour lequel le système d'endiguement présente la probabilité de rupture la plus élevée est le scénario n°1 : **rupture de digue au lieu-dit « Bouteille », sur la commune de Guilly.**



Carte 4 : Hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement maximales pour le scénario d'inondation n°1 (source BRLi)

Pour ce scénario, 54 000 personnes seraient impactées par l'inondation engendrée par la brèche et près de 11 000 potentiellement mises en danger du fait de leur habitat en simple rez-de-chaussée. L'agglomération Orléanaise serait touchée par l'onde de crue moins de 24 heures après la rupture de la digue.

En terme de gravité, ce scénario est qualifié de désastreux et présente un risque intolérable.

Cinq autres scénarios sur les huit étudiés présentent une criticité équivalente (risque intolérable) : les scénarios n°2, n°4 et n°6 (brèche à Sigloy, « C hâteau Lumina » et Sandillon) et les scénarios n°3 et n°8 (brèche à Jargeau et à l'Hippodrome).

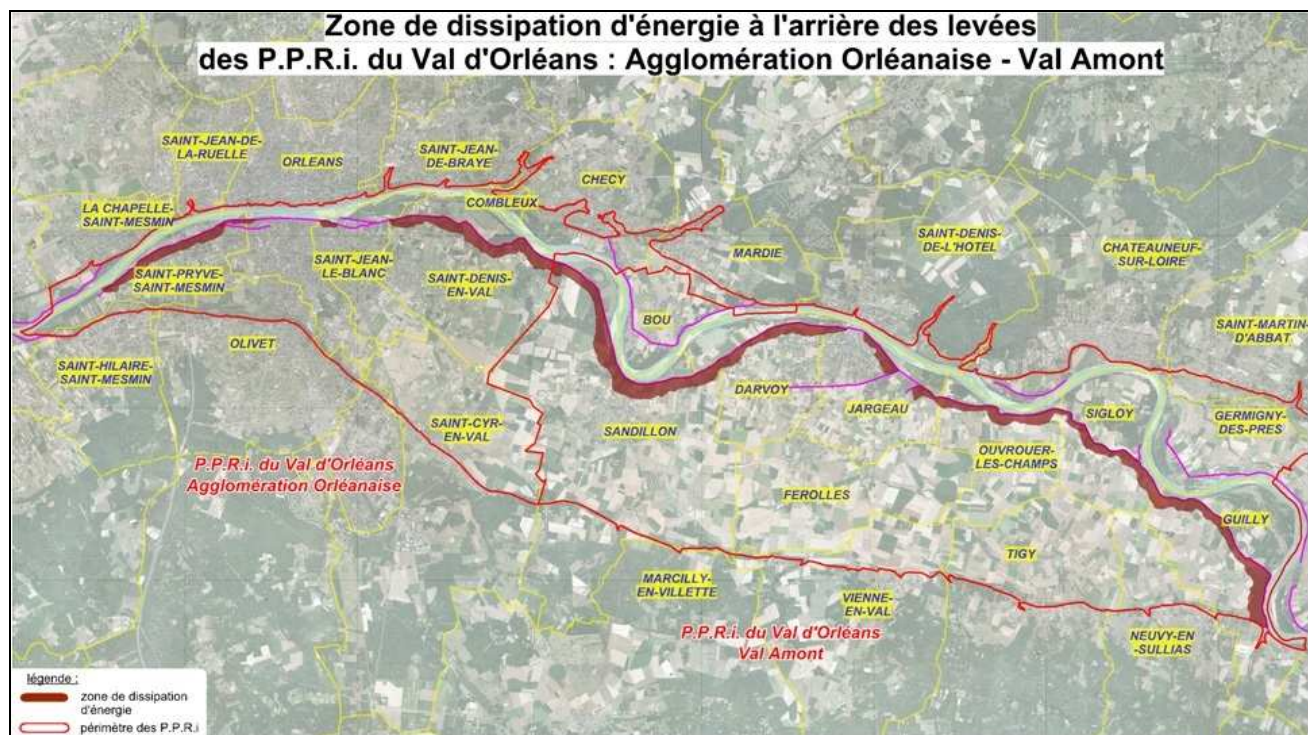
Finalement, toute défaillance du système d'endiguement aurait des conséquences catastrophiques à l'échelle du val d'Orléans, dans la mesure où la partie la plus urbanisée du val est inondée dans chaque scénario. Le risque dans le val d'Orléans est qualifié d'intolérable.

0.5.2. A l'arrière immédiat des digues

Au-delà de ces simulations hydrauliques, l'analyse des brèches historiques et des fosses d'érosion amènent à considérer une zone de dissipation d'énergie en arrière des digues liée à la rupture potentielle de l'ouvrage. Dans cette zone, la force liée à l'entrée d'eau brutale dans la zone protégée détruirait toute construction et éroderait les terrains.

Par les constats faits sur la Loire, cette zone de danger liée à la dissipation de l'énergie derrière la brèche est proposée dans la présente étude à cent fois la différence entre le niveau de protection, soit la crue T200, et le niveau du terrain naturel dans le val.

Cette zone, utilisée pour la révision du PPRi des vals de l'Orléanais, s'illustre de la manière suivante :



Carte 5 : zone de dissipation d'énergie à l'arrière des digues du val d'Orléans (source DDT45)

0.6. - Mesures de réduction des risques

Les secteurs de défaillance de la levée d'Orléans, mis en évidence dans la présente étude, les conséquences de ces défaillances et l'analyse des modes de gestion existants permettent d'élaborer un plan de mesures de réduction des risques.

Celui-ci distingue :

- les **mesures de gestion du risque** qui tiennent compte des connaissances apportées par l'Étude de dangers et visent, à court terme, à consolider l'organisation pour l'intervention d'urgence en cas de crue.
- les **améliorations structurelles et fonctionnelles du système d'endiguement** basées sur la résorption des anomalies constatées et hiérarchisées de manière à augmenter le niveau de sûreté jusqu'à ce que celui-ci dépasse le niveau de protection (tronçons de digue résistants à la surverse)
- l'**amélioration des connaissances** des phénomènes (hydrologiques, liés à la formation des brèches, etc.) et des ouvrages

Les principales mesures de ces différents volets sont présentées ci-après.

0.6.1. Mesures de gestion du risque

A ce jour, il existe sur le secteur plusieurs mesures de gestion du risque pour lesquelles l'étude de dangers apporte des éléments de connaissances complémentaires qu'il convient d'intégrer :

- Plan de Prévention du Risque d'Inondation : l'étude de dangers conforte les connaissances sur l'importance des enjeux situés dans la zone théoriquement protégée par la digue. Elle apporte en outre des éléments pour qualifier les aléas liés à la rupture des ouvrages. Ces éléments de connaissance doivent être et sont déjà progressivement intégrés dans la révision des PPRi en cours sur le val d'Orléans.
- Plan de Surveillance des Levées (consignes écrites) : l'étude de dangers apporte des éléments pour prioriser les actions de surveillance de l'ouvrage, notamment en période de crue. Le gestionnaire de l'ouvrage utilisera ces informations pour réorganiser la surveillance qu'il assure des ouvrages.
- Intervention pour des réparations d'urgence : l'analyse du niveau de sûreté de l'ouvrage met en évidence certaines faiblesses importantes de la digue, notamment à l'amont du val. Le gestionnaire de l'ouvrage a par ailleurs la possibilité de mobiliser en urgence des moyens (marché en place avec une entreprise de BTP) pour venir renforcer les points faibles. L'étude de dangers permet d'orienter ces moyens vers les points faibles.
- Plan d'évacuation des populations : la partie du val d'Orléans comprise dans l'agglomération d'Orléans est couverte par un plan d'évacuation des populations en cas de crue de la Loire. L'étude de dangers conforte le seuil d'alerte pour déclencher l'évacuation et pose la question d'élargir le dispositif à l'ensemble du val
- Plans communaux de sauvegarde : les communes du val d'Orléans sont toutes dotées d'un PCS approuvé ou en cours d'élaboration. Les résultats de l'étude de dangers devront alimenter ces PCS, notamment pour les mesures d'évacuation.

0.6.2. Améliorations structurelles et fonctionnelles de la digue

Les analyses fonctionnelles et géotechniques conduisent à proposer pour le val d'Orléans une stratégie d'intervention sur la digue d'Orléans en deux temps, afin d'éviter la défaillance des ouvrages :

1. pour diminuer la probabilité de rupture de la digue avant surverse, et donc relever le niveau de sûreté au-dessus du niveau de protection, l'étude de dangers propose un ensemble d'interventions prioritaires (coût estimé à 25 millions⁵ d'euros)
2. pour éviter la défaillance des ouvrages suite à surverse, l'étude de dangers propose d'étudier la possibilité de mettre en place un système de gestion des surverses, et renvoie pour cela à la démarche ECRIVALS en cours avec les collectivités qui vise à définir un schéma d'aménagement des digues et de l'occupation des vals qui permette une réduction des risques (coût estimé à 35 millions⁴ d'euros pour les travaux sur le système d'endiguement)

0.6.3. Amélioration des connaissances

Cette amélioration porte sur les phénomènes et les approches complexes telles que l'hydrologie fine de la Loire et de ses affluents, la remontée de fontis et les effondrements karstiques, la formation des brèches ou les calculs de probabilité de rupture de digue. Ces mesures doivent être portées par des organismes de recherche. Certaines études sont déjà lancées (thèse sur l'interaction des karsts et des digues).

⁵ Ce chiffrage reste approximatif. Il est réalisé par ratio et par type de désordre. Un programme opérationnel sera constitué d'actions cohérentes qui pourront comprendre plusieurs types de réparations combinés. Les coûts devront alors être appréciés à partir d'une définition plus précise de ces opérations.

D'autres améliorations des connaissances concernent les ouvrages en eux-mêmes : investigations complémentaires pour la détection d'anomalies, recherche et analyse d'archives, traitement des ouvrages traversants types canalisations.

