



12DHF027

Février 2015



Études de dangers des digues
domaniales de classes B de la Loire

**Rapport de l'étude de dangers
du système d'endiguement du
val d'Ardoux**

SAFEGE
Ingénieurs Conseils

SIÈGE SOCIAL
PARC DE L'ILE - 15/27 RUE DU PORT
92022 NANTERRE CEDEX
Unité Hydraulique Fluviale

0

Résumé non-technique de l'étude de dangers

0.1 Contexte et objectifs de l'étude de dangers

La DREAL Centre a confié les études de dangers des systèmes d'endiguement de classe B et C ainsi que des revues de sûreté des systèmes de classe A et B sur la Loire à des bureaux d'études agréés au titre du décret n° 2007-1735 du 11 décembre 2007.

L'étude de dangers du val d'Ardoux a été réalisée par le bureau d'étude SAFEGE. Le bureau d'étude GINGER CEPTB a été mandaté pour réaliser les investigations géotechniques nécessaires à l'élaboration de cette étude.

Les deux objectifs principaux recherchés sont :

1. aboutir à des probabilités d'occurrence de scénarios d'inondation par rupture de digue, dans le respect du décret et de l'arrêté ;
2. faire des études de dangers une démarche pragmatique, utile aux gestionnaires pour définir et hiérarchiser leurs investissements.

La méthodologie proposée, conforme à l'arrêté du 12 juin 2008 (définissant le plan de l'étude de dangers des barrages et des digues et en précisant le contenu), vise, en termes généraux, à :

- **identifier** l'ensemble des risques existants, notamment les risques auxquels l'ouvrage peut exposer la population ;
- **déterminer les niveaux de sûreté et de protection** des ouvrages constituant les levées du val d'Ardoux ;
- **caractériser** les risques en termes de probabilité d'occurrence, intensité des effets, cinétique et gravité des conséquences ;
- proposer une démarche de **réduction des risques** ;
- réaliser, à partir d'une analyse de risques, une **synthèse** de la situation actuelle de l'ouvrage et des mesures d'amélioration pour réduire les risques.

La levée du Val d'Ardoux a été classée en digue de classe B au titre de l'article L.214-6 du code de l'environnement par un arrêté préfectoral sur proposition des préfetures du Loiret et de Loir-et-Cher du 29 décembre 2011.

Le val d'Ardoux présente un linéaire d'environ 25 km entre les communes de Saint-Hilaire-Saint-Mesmin et Saint-Laurent-Nouan avec une largeur moyenne de 1.5 km et une superficie de 38 km².

Ce système d'endiguement qui participe à la protection contre les inondations est propriété de l'État au titre du Domaine Public Fluvial ainsi que les terrains sur lesquels leurs fondations sont assises. Il est géré, par délégation du préfet du Loiret, par la Direction Départementale des Territoires du Loiret (DDT 45) pour sa partie amont et, par délégation du préfet de Loir-et-Cher, par la DDT 41 pour sa partie aval.

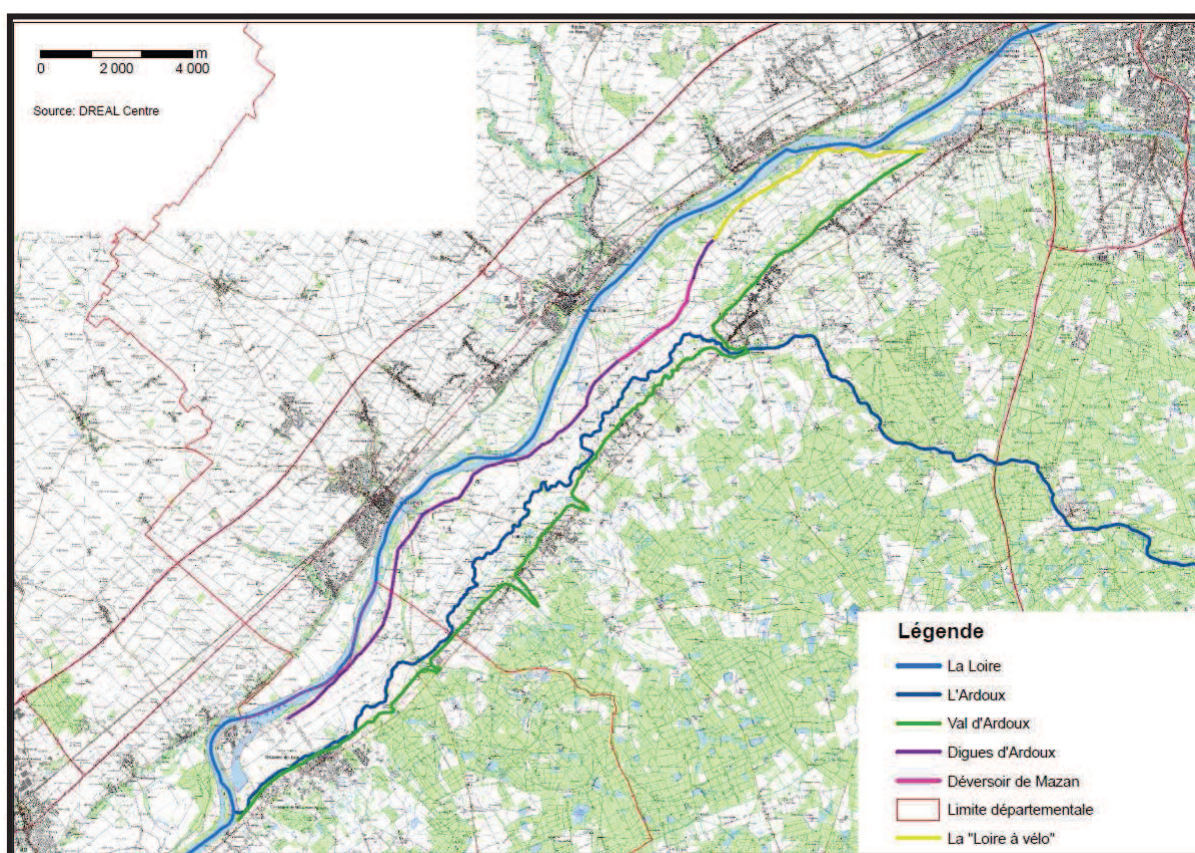


Figure 1. Levée du val d'Ardoux

Le classement de la levée du val d'Ardoux en digue de classe B est justifié par le comptage de la population protégée par la levée. En effet, celle-ci a été évaluée à 1 100 habitants résidents dont 95 % dans un bâti de type maison individuelle. La population protégée est donc bien comprise entre 1 000 et 50 000 habitants seuils définis pour le classement en digue de classe B.

0.2 Systèmes de protection contre les inondations et composition des levées du val d'Ardoux

Le terme « levée » s'utilise pour désigner une digue construite en terre par élévation successive. À l'exception de quelques tronçons, la majeure partie des digues du val d'Ardoux sont des levées.

Le val d'Ardoux est situé en rive gauche de la Loire et se répartit sur deux départements ; principalement le Loiret sur 7 communes et, en aval, sur la commune de Saint-Laurent-Nouan en Loir-et-Cher.

Ce val ne comporte pas d'agglomération ni de zone de densité élevée, en revanche, l'habitat rural est relativement dispersé dans la partie centrale. Les enjeux restent relativement faibles dans ce val.

La levée du val d'Ardoux comprend une digue de rang 1 (ou ligne de défense principale) qui constitue la quasi totalité de son linéaire et le déversoir de Mazan (déversoir simple sans fusible) d'un linéaire de 3 km se répartissant sur les communes de Mareau-aux-Prés, Cléry-Saint-André et Dry.

Le val est particulièrement plat et en présente pas de voies remblayées (ou ouvrages secondaires) de hauteur significative (supérieure à 1 m) qui viennent compléter ce système d'endiguement. Ce val est ouvert en aval et peut donc être inondé par remous de la Loire dans l'Ardoux.

La levée du val d'Ardoux est un système d'endiguement ouvert à l'aval et équipé d'un déversoir, le déversoir de Mazan. Elle a pour fonction de protéger, jusqu'à un certain niveau de crue, la zone constituée par l'ensemble du val d'Ardoux avec la particularité de sa partie aval qui est inondée, lors d'une crue de la Loire, par remous de ses eaux dans l'Ardoux. Elle a été édifiée sur une longueur de 25 km et une hauteur moyenne de 3,50 m (hauteur maximale de 7,16 m) pour sa ligne de défense principale.

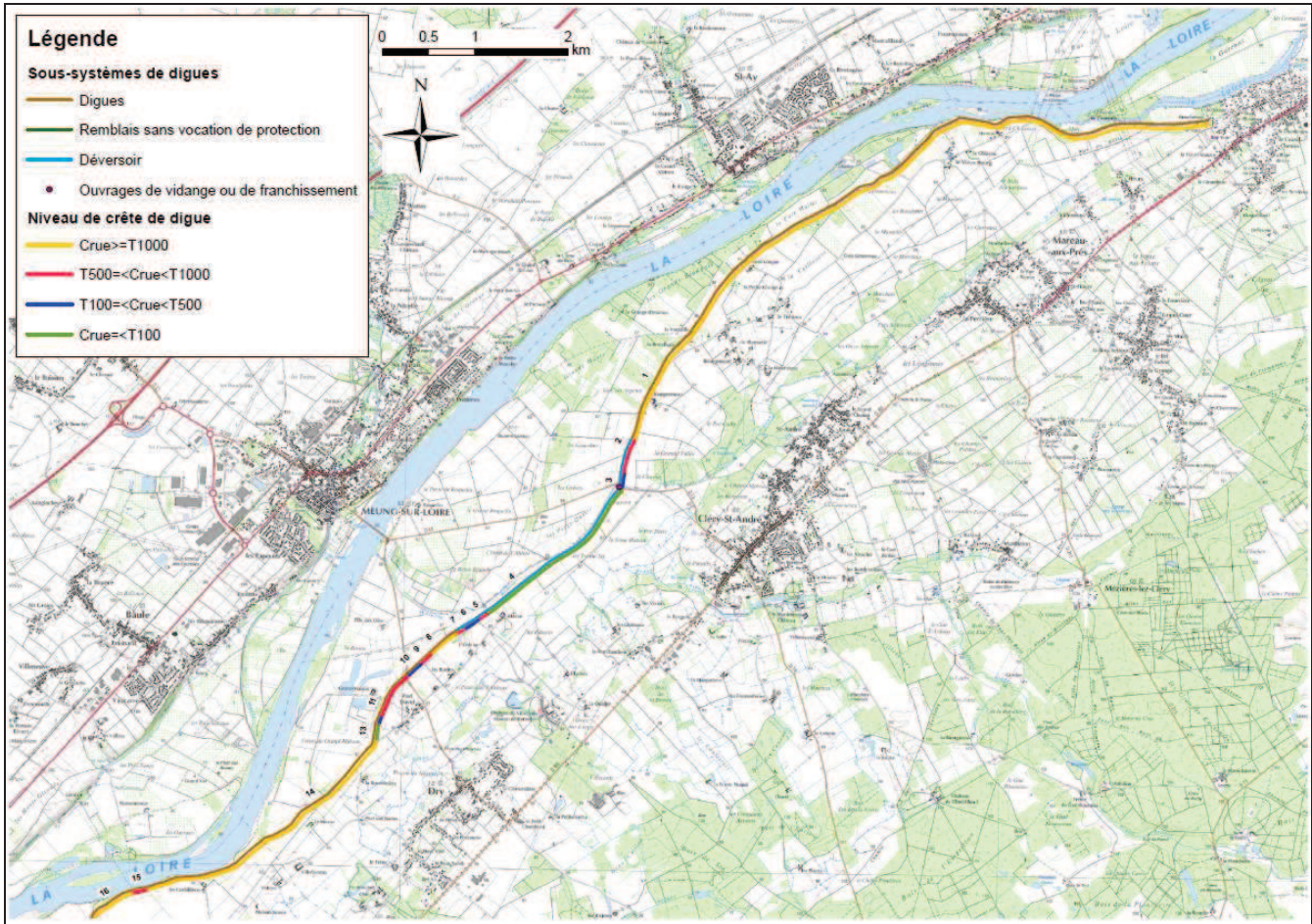


Figure 2. Analyse fonctionnelle hydraulique de la partie amont du système d'endiguement du val d'Ardoux

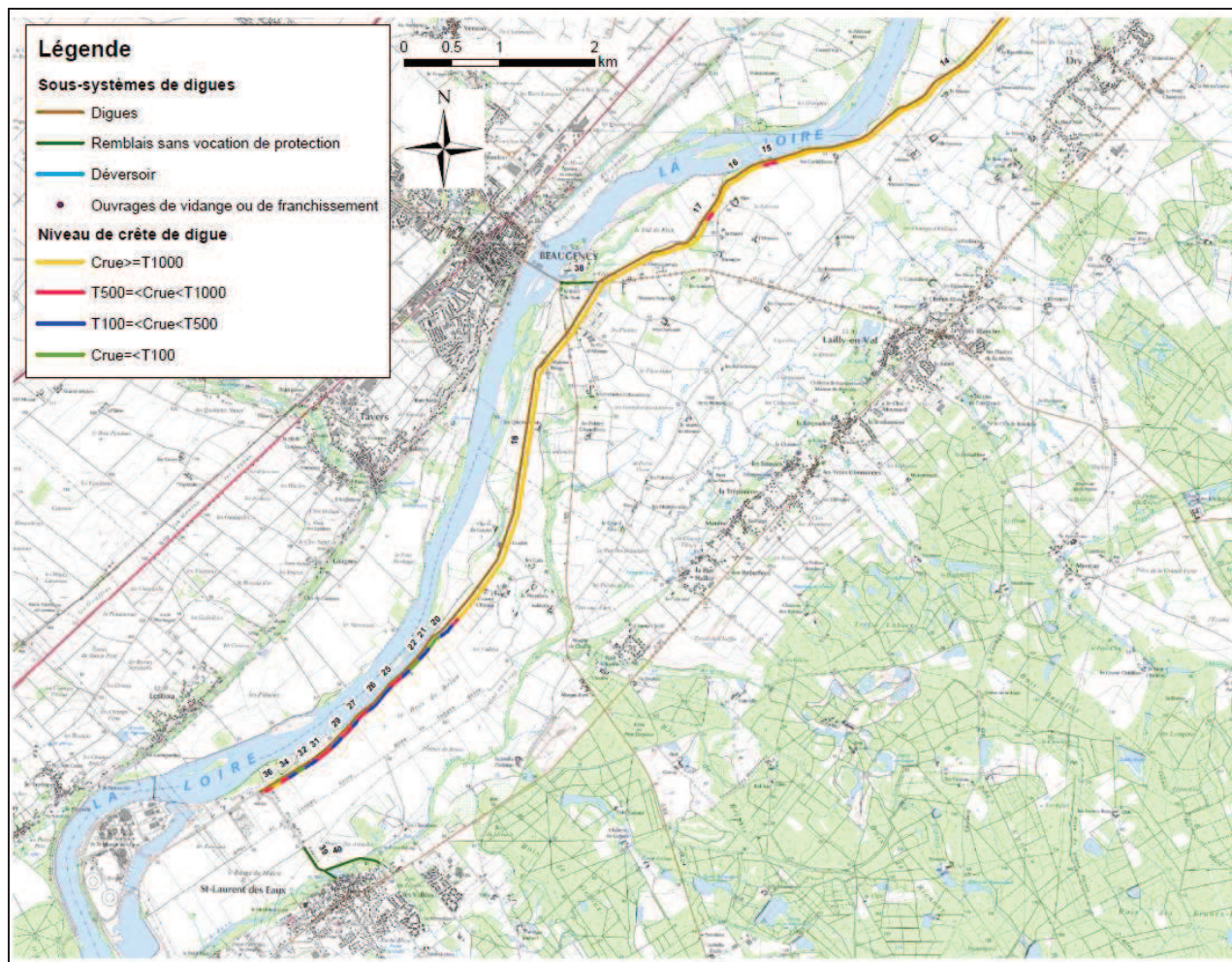


Figure 3. Analyse fonctionnelle hydraulique de la partie médiane du système d'endiguement du val d'Ardoux

A l'instar des autres levées de la Loire, les levées du val d'Ardoux sont des ouvrages anciens qui ont été construits et reconstruits par élévations et élargissements successifs depuis le Moyen Âge. Il s'agit, pour la plupart du linéaire, d'ouvrages en terre, non résistants à la surverse.

Les résultats de l'étude ont permis de mettre en évidence trois profils type représentatifs de la quasi-totalité du linéaire de digue et adaptés de ceux utilisés pour caractériser les levées de la Loire moyenne (source DREAL Centre), reflets de la connaissance actuelle des digues de Loire (Cf. Figure 4 à Figure 6). Certaines précisions doivent néanmoins être apportées pour appliquer ces profils à la digue du val d'Ardoux :

- ✓ **Pour les profils T1 : levées non renforcées** : la digue ne présente ni pieu ni empierrement dans son corps de digue ancien. Des pieux ont été mis en place sur certains linéaires à la limite du lit mineur pouvant se situer à plusieurs dizaines de mètres de la digue ;
- ✓ **Pour le déversoir de Mazan** : le profil en travers du déversoir est de type T1 non renforcé et ne présente ni pieu ni empierrement également ;

- ✓ Une dernière précision est également à noter, les renforcements en pieds de digue en enrochements sont assez rares sur ce système d'endiguement.

Remarque : le déversoir de Mazan est caractérisé par un profil en travers type dans la partie suivante cependant, les composants géotechniques rencontrés dans sa structure sont équivalents à ceux du profil en travers type T1 (non renforcé). Il a été choisi de définir un profil type (Figure 33) pour le déversoir pour distinguer ce tronçon de digue de l'ensemble du linéaire du fait de sa différence fonctionnelle significative.

✓ Profil T1 : levée non renforcée

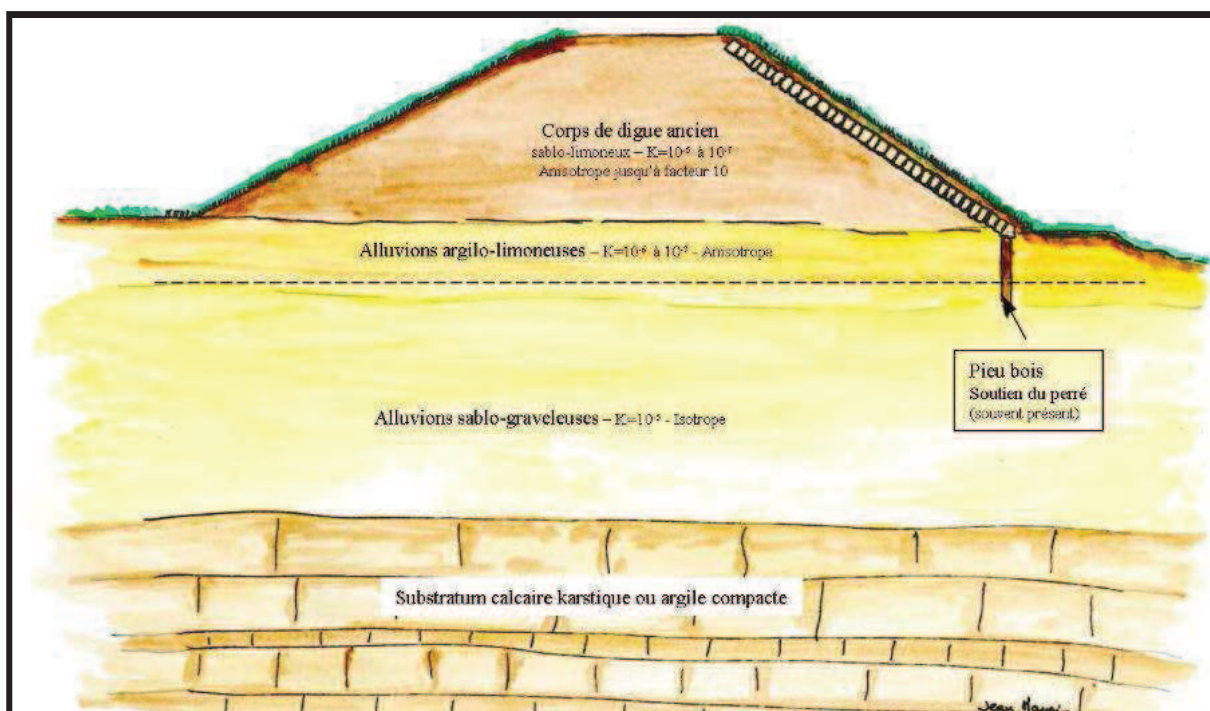


Figure 4. Profil en travers type T1 de la levée du val d'Ardoux non renforcée – Source : Étude de dangers de la levée d'Orléans (DREAL Centre)

✓ Profil T2 : levée renforcée côté val

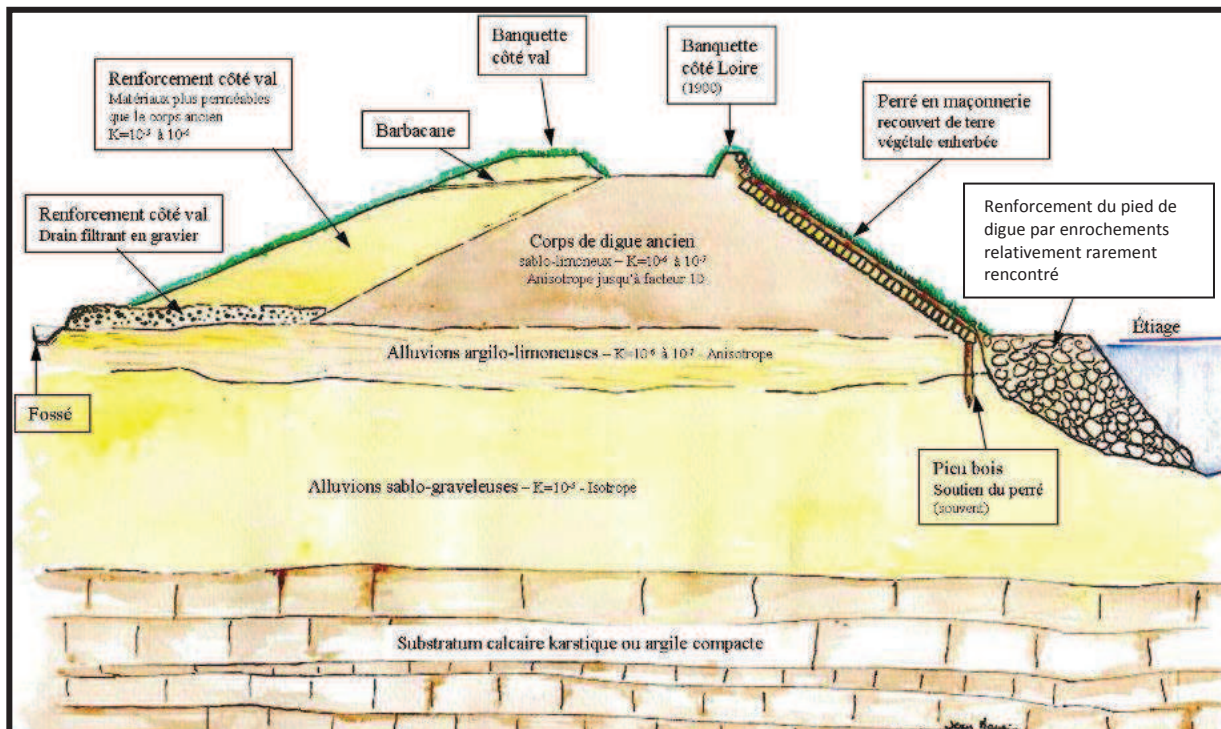


Figure 5. Profil en travers type T2 de la levée du val d'Arroux renforcée côté val– Source : Étude de dangers de la levée d'Orléans (DREAL Centre)

✓ Profil T3 : déversoir de Mazan

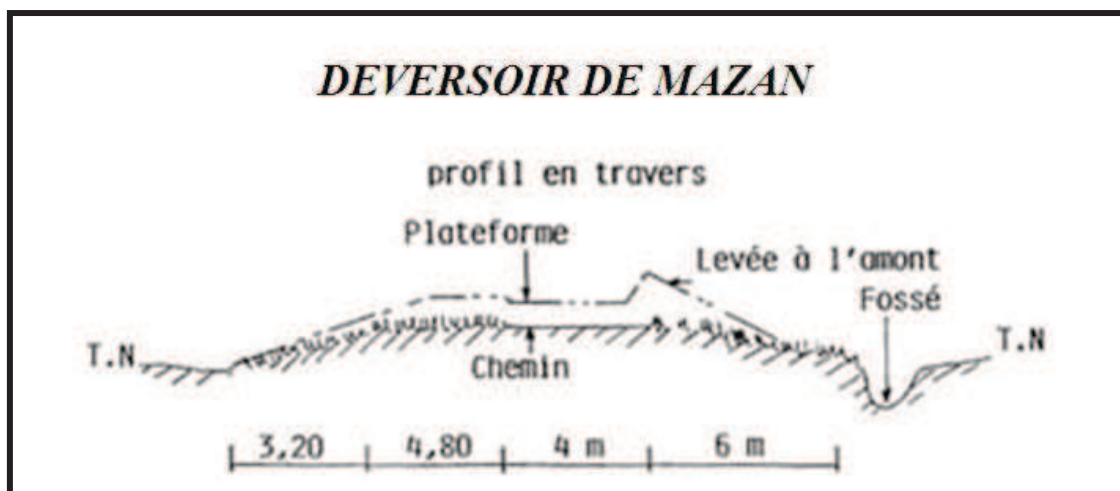


Figure 6. Profil en travers type T3 de la levée du val d'Arroux non renforcée du déversoir de Mazan– Source : http://www2.centre.ecologie.gouv.fr/azi1/htm/D-45/caracteristique_val/11_PA.htm

La connaissance initiale des ouvrages, les 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 nombreux désordres pouvant influencer sur la tenue des ouvrages en cas de crue :

- canalisations incluses dans les levées ;

- bâtiments encastrés dans les digues ;
- végétation sur et aux abords des levées ;
- terriers d'animaux fouisseurs ;
- banquettes côté val et réseau d'assainissement pluvial associé ;
- obstacles sur les talus de digue.

Il est à noter que des documents d'archives concernant les grandes crues de la Loire de 1846, 1856 et 1866 a montré le faible rôle de protection apporté par les banquettes en terre (rupture dès lors qu'une charge de 20 cm d'eau s'applique sur ces ouvrages).

0.3 Dangers liés aux levées de Loire du val d'Ardoux

De ces premiers constats et considérant que les dangers afférents aux levées de Loire du val d'Ardoux 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 dans la zone protégée sont les suivantes (par ordre de gravité décroissante) :

- l'ouverture d'une brèche totale ou partielle sur un tronçon de levée ;
- une surverse sans brèche au-dessus de la crête d'un tronçon de levée ;
- l'intrusion d'eau dans la zone protégée par des canalisations traversant une levée ou le dysfonctionnement des clapets anti-retour si celles-ci en sont pourvues.

0.4 Niveau de protection apparent et niveau de sûreté de la levée de Loire du val d'Ardoux

Pour caractériser le degré de protection d'un système d'endiguement, la définition de deux notions de base est nécessaire :

- **Le niveau de protection** : niveau d'eau du 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** : niveau d'eau du 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'Ardoux est lié au déversoir de Mazan.

Dans le cas du système d'endiguement du val d'Ardoux, Il est difficile de définir un objectif de protection initial (ou originel) car les levées ont été construites, rehaussées et renforcées au cours des siècles au gré des événements de crue rencontrés et de la politique d'aménagement considérée.

Néanmoins, à la suite des trois grandes crues du XIX^{ème} siècle, en 1867, un programme d'aménagement précis se dessine à l'échelle de la Loire moyenne. De ce programme, seuls 6 des 19 déversoirs prévus dans la Loire moyenne seront réalisés face à l'opposition de la population locale. Il est à noter que le déversoir de Mazan ne s'inscrit pas dans ce programme et que son niveau correspond simplement à celui de l'ancienne levée avant rehaussement par Colbert de la majeure partie des digues de Loire après la crue de 1707.

On peut donc en conclure que l'objectif de protection historique de la Loire moyenne et donc de la levée d'Ardoux pour le programme de 1867 était la crue de 1856 mais que les aménagements préconisés n'ayant pas été réalisés dans leur ensemble, cet objectif n'a donc pas été atteint.

Il est à noter que l'équipe Pluridisciplinaire PLGN a évalué que, dans l'état actuel de la Loire, les crues correspondant à des crues d'importance comparable à celle des crues historiques de 1846, 1856 et 1866 auraient une période de retour entre 170 et 200 ans.

0.4.2 Niveau de protection apparent des levées de Loire du val d'Ardoux

Les niveaux de protection apparents du système d'endiguement du val d'Ardoux ont été estimés par le biais d'un modèle hydraulique unidimensionnel à casier Loire Moyenne version 2010 (LM10) construit par l'Équipe Pluridisciplinaire PLGN en 1998 et recalé en 2010 qui couvre la Loire et ses affluents du Bec d'Allier (03) à Montjean-sur-Loire (49).

Huit niveaux de crues théoriques représentant les probabilités d'occurrence annuelle **au Bec d'Allier** de 1/20, 1/50, 1/70, 1/100, 1/170, 1/200, 1/500 et 1/1000 ont été modélisés en Loire pour déterminer les zones de surverse du système de protection contre les inondations et par conséquent les niveaux de protection apparents. Aussi, il convient d'interpréter avec précaution les périodes de retour affichées par la suite aux échelles de références puisqu'elles correspondent aux débits au Bec d'Allier.

Chaque crue a été qualifiée par son débit de pointe et sa cote aux échelles de référence des Règlements d'Information sur les Crues (R.I.C.) des Service de Prévision des Crues : pont d'Orléans (45) et pont de Beaugency (45).

| Crue | T20 | | T50 | | T70 | | T100 | |
|--|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|
| Débit au Bec d'Allier (écrêté par le barrage de Villerest) | 3600 | | 4200 | | 5000 | | 6000 | |
| Échelle | Orléans | Beaugency | Orléans | Beaugency | Orléans | Beaugency | Orléans | Beaugency |
| Débit (m ³ /s) | 3610 | 3610 | 4060 | 4060 | 4690 | 4660 | 5540 | 5030 |
| Cote d'eau (mNGF) | 94.52 | 83.45 | 94.91 | 83.91 | 95.42 | 84.92 | 96.07 | 85.54 |
| Hauteur d'eau (m) dans le modèle LM10 | 6.75 | 6.10 | 7.14 | 6.56 | 7.65 | 7.57 | 8.30 | 8.19 |

Tableau 2. Cotes et débits obtenus à l'échelle d'Orléans et de Beaugency pour les crues T20 à T100 modélisées à l'aide du modèle LM10 modifié

| Crue | T170 | | T200 | | T500 | | T1000 | |
|--|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|
| Débit au Bec d'Allier (écrêté par le barrage de Villerest) | 6500 | | 7000 | | 8500 | | 10000 | |
| Échelle | Orléans | Beaugency | Orléans | Beaugency | Orléans | Beaugency | Orléans | Beaugency |
| Débit (m ³ /s) | 5870 | 5100 | 6140 | 5150 | 6740 | 5330 | 7000 | 5600 |
| Cote d'eau (mNGF) | 96.32 | 85.63 | 96.50 | 85.70 | 96.93 | 85.91 | 97.14 | 86.26 |
| Hauteur d'eau (m) dans le modèle LM10 | 8.55 | 8.28 | 8.73 | 8.35 | 9.16 | 8.56 | 9.37 | 8.91 |

Tableau 3. Cotes et débits obtenus à l'échelle d'Orléans et de Beaugency pour les crues T170 à T1000 modélisées à l'aide du modèle LM10 modifié

Les lignes d'eau sont comparées au profil en long du sommet des digues :

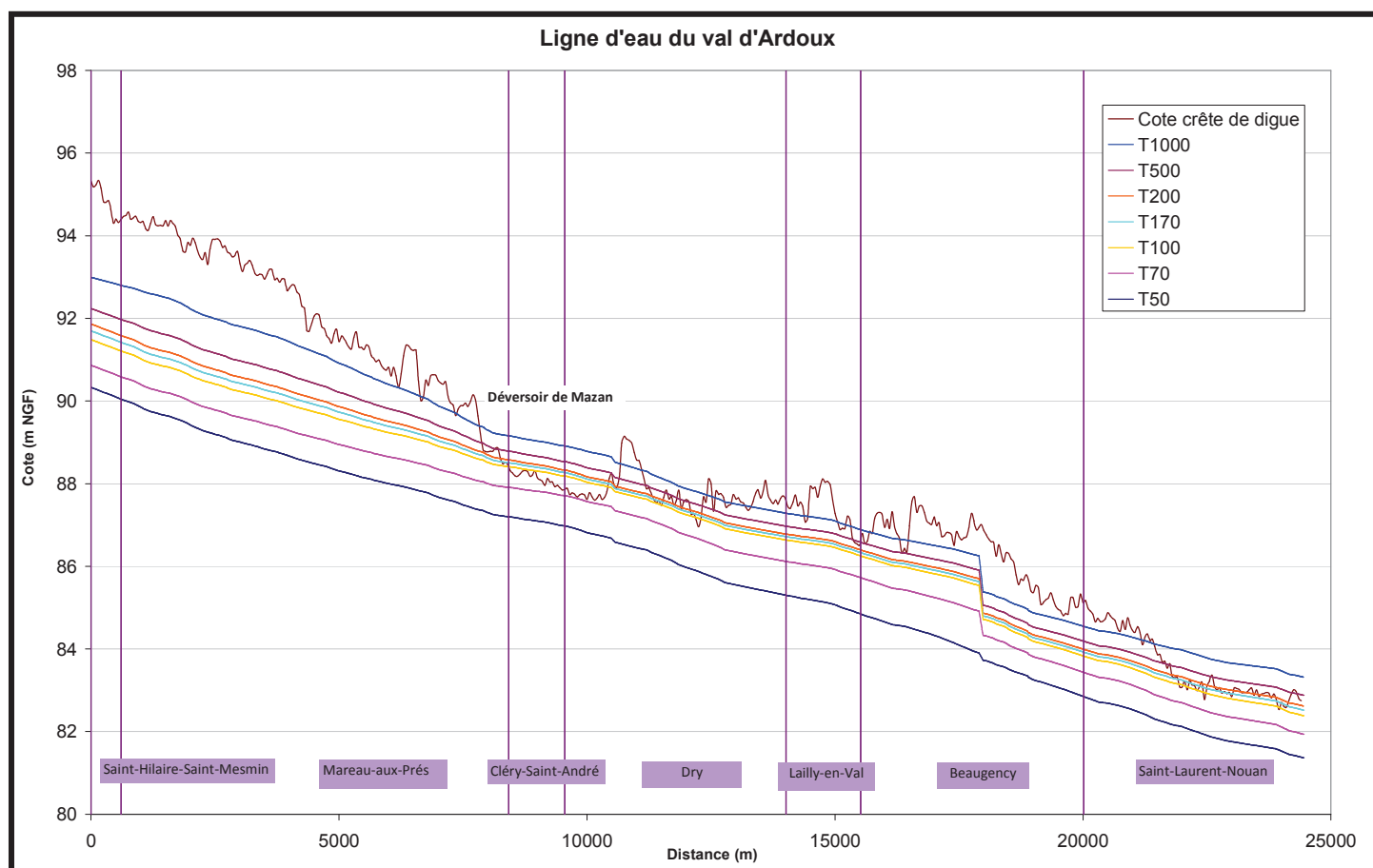


Figure 7. Profil en long de la crête de digue des levées du val d'Ardoux et lignes d'eau associées à différentes période de retour de crues de la Loire

Les premières surverses observées pour le val d'Ardoux se situent donc au niveau du déversoir de Mazan pour une crue de période de retour légèrement supérieure à T=70 ans ce qui correspond à un débit de 5 000 m³/s au Bec d'Allier.

Le niveau de protection apparent du val d'Ardoux est donc la crue T1000 pour la partie amont de la digue jusqu'au déversoir de Mazan et la crue T70 pour la partie aval de la digue du déversoir de Mazan (inclus) jusqu'à l'aval de la digue.

0.4.3 Défaillance du système de protection et niveaux de sûreté

Si les levées de Loire du val d'Ardoux ont fait l'objet de travaux de renforcement réalisés au cours des 40 dernières années, permettant ainsi de réduire leur probabilité de rupture, sa partie aval (à partir du déversoir de Mazan) demeurent non renforcée. Associé à un certain nombre de désordres évoqués ci-avant, des tronçons de digue de ce secteur constituent des zones de fragilité du système de protection contre les inondations.

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 digues :

- la rupture liée à la surverse par érosion du talus côté val ;
- la rupture liée au glissement de talus côté val ;
- la rupture liée au soulèvement hydraulique ;
- la rupture liée à l'érosion interne ;
- la rupture liée à l'érosion externe.

L'estimation des probabilités de rupture pour chaque mode et chaque crue considérée a été conduite par pas d'espace de 50 m sur l'ensemble du système d'endiguement de la ligne de défense principale du val d'Ardoux, via un modèle de calcul spécifique qui intègre les désordres évoqués ci-avant.

Une zone particulière de défaillance a été mise en évidence dans la ligne de défense principale. Deux tronçons successifs ont été identifiés sur la commune de Dry (**partie aval de la digue**) présentant une probabilité de rupture considérée comme non négligeable pour une crue de **période de retour 20 ans**, ce qui correspond à une cote à l'échelle d'Orléans de 94,52 m NGF d'après le modèle LM10 (Cf. Tableau 2).

Pour la partie amont de la digue, un tronçon a été identifié sur la commune de Mareau-aux-prés présentant une probabilité de rupture considérée comme non négligeable pour une crue de **période de retour 100 ans**, ce qui correspond à une cote à l'échelle d'Orléans de 96,07 m NGF d'après le modèle LM10 (Cf. Tableau 2).

Ainsi, le niveau de sûreté de la digue d'Ardoux est défini comme correspondant à la crue T100 en amont du déversoir et à la T20 pour la partie aval de la digue.

Néanmoins, il est important de noter que **ce niveau de sûreté est dépendant de certaines méconnaissances de la digue telles que la présence et position de certaines canalisations**. En effet, les canalisations relevées pour les tronçons permettant de définir les niveaux de sûreté (PM 12100, 12150) proviennent des **données des DICT dont la fiabilité des informations est à vérifier**. Si l'on fait abstraction de ces 2 tronçons et du tronçon 20700 sur lequel une canalisation issue des DICT a également été relevée, **le niveau de sûreté serait plutôt relatif à la crue de type T70** sur la partie aval de la digue.

Un diagnostic précis et une mise en sécurité de ces éléments pourraient engendrer **une rehausse des niveaux de sûreté qui ont été définis dans la présente étude de dangers**.

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

Les analyses fonctionnelles et structurelles du système de protection contre les inondations réalisées pour la présente Étude de dangers conduisent à qualifier les niveaux de protection apparents et de sûreté des ouvrages, comme rapporté précédemment. Ce faisant, elles permettent d'imaginer le fonctionnement probable du système dans son état actuel.

Pour des crues de débit compris entre ceux des crues T20 et T70, la digue pourrait être défaillante et céder, sans pour autant que l'on observe des surverses sur les ouvrages. Les situations les plus préoccupantes se situent sur différents secteurs du val, majoritairement à son aval, sur les communes Dry, Beaugency et Saint-Laurent-Nouan. Ces secteurs de la digue sont des zones présentant plusieurs désordres (végétation ancienne, canalisations, terriers, ...). Néanmoins, des défaillances pourraient être observées sur d'autres secteurs. Il est à noter que **le risque de rupture n'est pas ici lié à une cause structurelle de l'ouvrage mais plutôt à la présence de désordres susceptibles de déclencher et d'amplifier les processus d'érosion interne**.

Pour des crues de débit supérieur à celui de la crue T70, le déversoir de Mazan entre en fonctionnement et le système d'endiguement serait mis en péril avec des surverses sur certains secteurs (Cf. Figure 7) 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 pour une crue T100 : au déversoir de Mazan, sur les communes de Mareau-aux-Près, Cléry-Saint-André et Dry, sur la commune de Dry, au lieu-dit de « Port-David » et enfin, sur la commune de Saint-Laurent-Nouan, au niveau du « Bois de Briou ».

En conclusion, le système de protection constitué par les levées de Loire du val d'Ardoux présenterait probablement, aujourd'hui, un mode de fonctionnement préoccupant et anormal pour des crues supérieures en débit à une crue type T20 de la Loire. **Ce résultat est néanmoins encore une fois à associer avec une méconnaissance de certains ouvrages traversants de la digue** dont il a été fait référence précédemment.

0.5 Caractérisation de la gravité du risque associé à la défaillance du système de protection

0.5.1 À 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 des levées.

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

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

Au total, **six scénarios d'inondation** ont été simulés par modélisation hydraulique unidimensionnelle à l'aide du modèle LM10 et analysés.

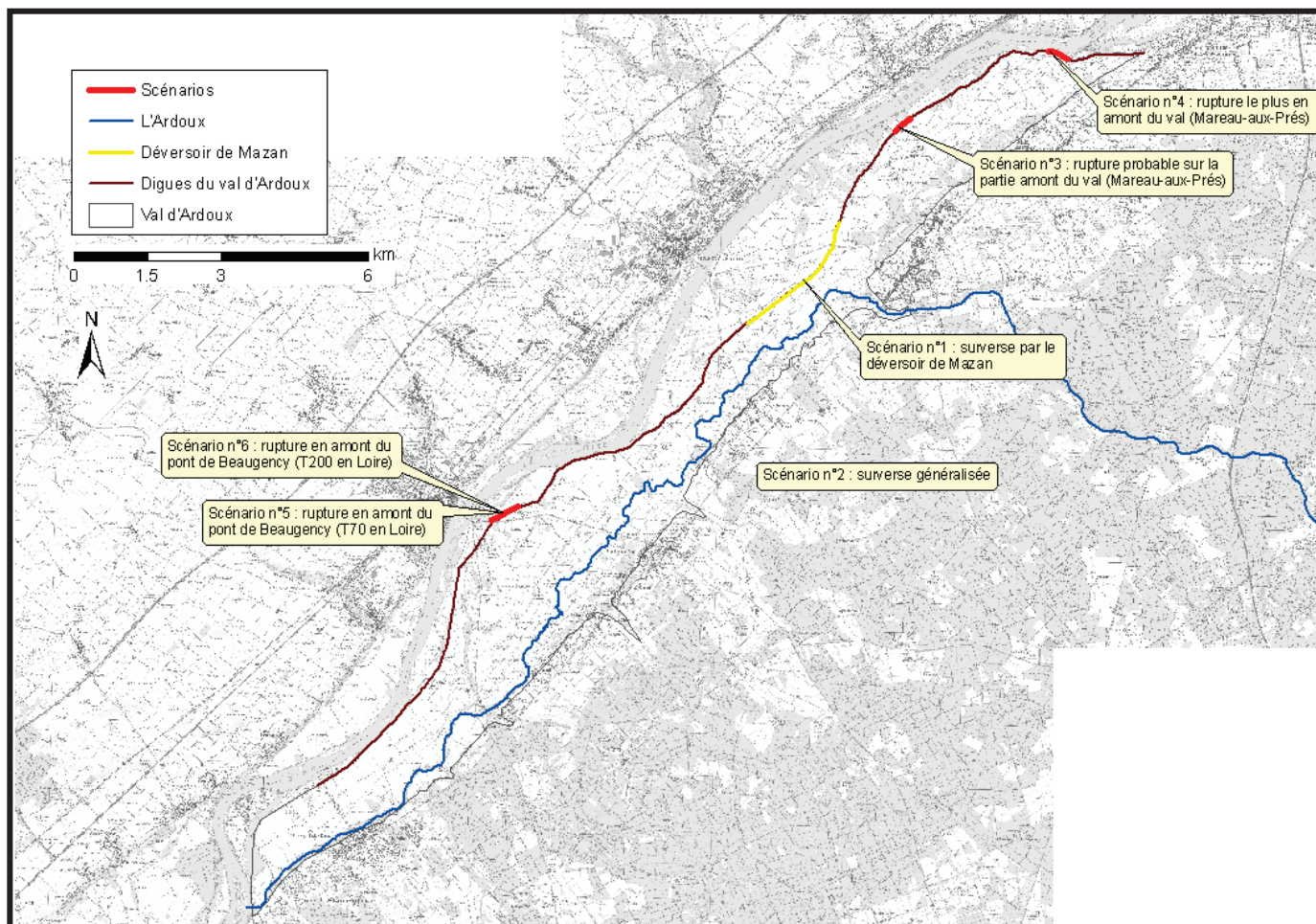


Figure 8. Scénarios d'inondation étudiés dans l'étude de dangers du val d'Ardoux

Le scénario le plus pénalisant en termes d'enjeux impactés n'est pas un scénario de défaillance du système de protection mais un scénario de surverse généralisée, dont la survenance est qualifiée de "peu probable".

Le scénario le plus probable est le scénario n°5 qui fait intervenir une brèche en amont du pont de Beaugency pour la crue qui caractérise le début de fonctionnement du déversoir de Mazan. L'impact de ce scénario sur les enjeux reste limité.

Enfin, le scénario n°1 doit alerter les services en charge de la gestion de crise dans le sens où une crue moyenne de la Loire impacterait fortement les populations alors même que le système de protection fonctionnerait normalement.

En termes de gravité, ces scénarios d'inondation sont qualifiés de "sérieux" ou "d'important" et ils présentent, pour certain, un risque préoccupant dans le contexte d'une société moderne.

Ces résultats amènent une série de propositions visant à réduire le risque lié à la présence de l'ouvrage.

0.5.2 À l'arrière immédiat des digues

Au-delà des simulations hydrauliques, l'analyse des brèches historiques et des fosses d'érosion engendrées par celles-ci amène à considérer une zone de dissipation d'énergie en arrière des digues liée à la rupture possible des ouvrages de protection. Dans cette zone, la force liée à la rupture possible des ouvrages de protection. Dans cette zone, la force liée à l'entrée d'eau brutale dans la zone protégée détruirait toute construction et éroderait les terrains.

L'effet de destruction du bâti lié à la dissipation de l'énergie derrière la brèche a été considéré comme s'étendant à une distance, mesurée à partir du pied de digue, égale à cent fois la charge hydraulique qui s'applique sur la digue lorsque le niveau d'eau dans le lit endigué atteint le niveau de protection apparent du système.

Cette délimitation de la Zone de Dissipation d'Énergie (ZDE) est une proposition et il incombera d'afficher la ZDE définitive de manière détaillée dans le cadre de la révision des PPRi s'appliquant sur ce territoire.

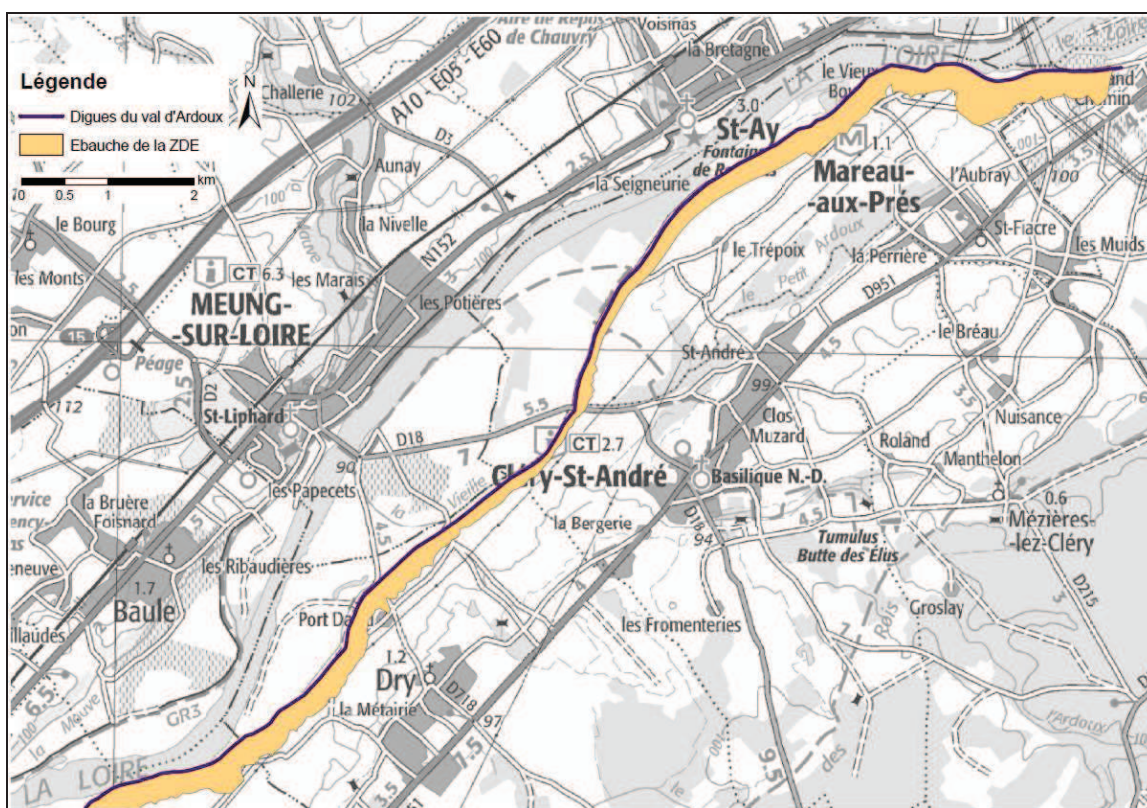


Figure 9. Ébauche de la Zone de Dissipation d'Énergie (ZDE) à l'arrière des digues - secteur amont

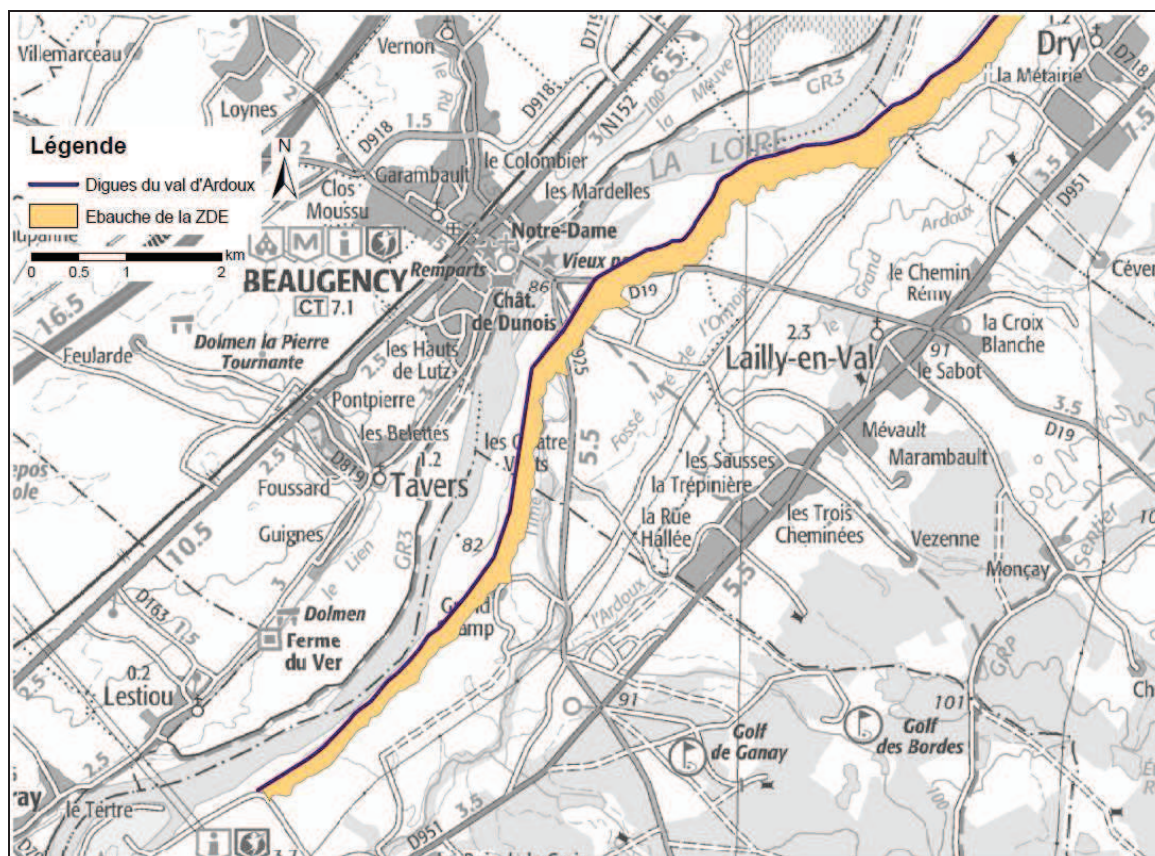


Figure 10. Ébauche de la Zone de Dissipation d'Énergie (ZDE) à l'arrière des digues - secteur aval

0.6 Mesures de réduction des risques

Les secteurs de défaillance des levées de Loire du val d'Ardoux, 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 de l'ouvrage qui tiennent compte des connaissances apportées par l'Étude de dangers et visent notamment, à court terme, à consolider l'organisation pour le maintien du service et pour l'intervention d'urgence en cas de crue ;
- les mesures de gestion du risque à l'échelle du territoire qui tiennent compte de la sauvegarde de la population ;
- l'amélioration des connaissances des ouvrages et des phénomènes (hydrologiques, liés à la formation des brèches, etc.).
- les améliorations structurelles et fonctionnelles du système d'endiguement basées, en premier lieu, sur la garantie de l'intégrité de la digue puis sur la résorption des désordres constatés et hiérarchisées de manière à augmenter les niveaux de sûreté des levées jusqu'à ce que ceux-ci dépassent les niveaux de protection apparents (tronçons de digue résistants à la surverse).

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

0.6.1 Mesures de gestion de l'ouvrage

L'Étude de dangers permet d'améliorer la gestion des digues :

- chaque propriétaire doit s'assurer de l'organisation de la gestion de son tronçon de digue et garantir que celle-ci est coordonnée pour l'ensemble du système de protection contre les crues de la Loire ;
- les gestionnaires doivent définir et prioriser les actions de surveillance des ouvrages et notamment en période de crue, par la mise à jour des consignes écrites ;
- les responsables doivent s'assurer d'une certaine capacité d'intervention pour des réparations d'urgence.

0.6.2 Mesures de gestion du risque

L'Étude de dangers conforte les connaissances sur l'importance des enjeux situés dans la zone théoriquement protégée par les digues. Elle apporte en outre des éléments pour qualifier les aléas liés à la rupture des ouvrages. Ces éléments de connaissance doivent être portés à connaissance dans le cadre :

- des Plans de Prévention du Risque Inondation (PPRI) du val d'Ardoux ;
- de la détermination des seuils d'alerte pour déclencher la mise en sécurité des personnes dans le val ;
- des Plans Communaux de Sauvegarde (PCS) des communes du val d'Ardoux.

0.6.3 Améliorations des connaissances

En préalable à tous travaux, une amélioration des connaissances des ouvrages en eux-mêmes est nécessaire : investigations complémentaires pour la détection de désordres et de la structure de certains renforcements **en particulier sur la structure du déversoir de Mazan**, recherche et analyse d'archives, traitement des ouvrages traversants (de type canalisations).

Cette amélioration porte aussi sur les phénomènes et les approches complexes telles que l'hydrologie fine de la Loire et de ses affluents, la formation des brèches ou les calculs de probabilités de rupture de digue. Ces mesures doivent être portées par des organismes de recherche.

0.6.4 Améliorations structurelles et fonctionnelles de la digue

Les analyses fonctionnelles et structurelles conduisent à proposer, pour les levées de Loire du val d'Ardoux, une stratégie d'intervention sur les levées, afin d'éviter la défaillance des ouvrages dans leur configuration actuelle pour diminuer la probabilité de rupture des levées avant surverse et donc relever les niveaux de sûreté **jusqu'aux niveaux de**

protection apparent de la digue, l'Étude de dangers propose un ensemble d'interventions prioritaires (Cf. cartographies du chapitre 0.6.4.1).

Ces mesures permettant de relever le niveau de sûreté pour atteindre les niveaux de protection apparents de la digue et le déversoir de Mazan entrant en fonctionnement pour une crue légèrement supérieure à la T70, il n'a pas été préconisé d'interventions supplémentaires sur cette digue.

Il est cependant à noter que le résultat de cette étude amène à s'interroger sur le devenir du secteur aval de la digue d'Ardoux dans le Loir-et-Cher puisque celui-ci apparaît comme vulnérable à la surverse dès la crue T100.

Néanmoins, compte tenu de sa vocation (protéger le val contre les inondations de la Loire en repoussant vers l'aval les entrées d'eau par remous), du niveau de sûreté de la digue d'Ardoux (proche de T70, seuil des premières surverses) et de l'absence quasi-totale d'enjeux à proximité, il est préconisé de le conserver ; au moins en l'état. Cette réflexion sera également à conduire après chaque crue subie par l'ouvrage.

0.6.4.1 Cartographie des travaux préconisés

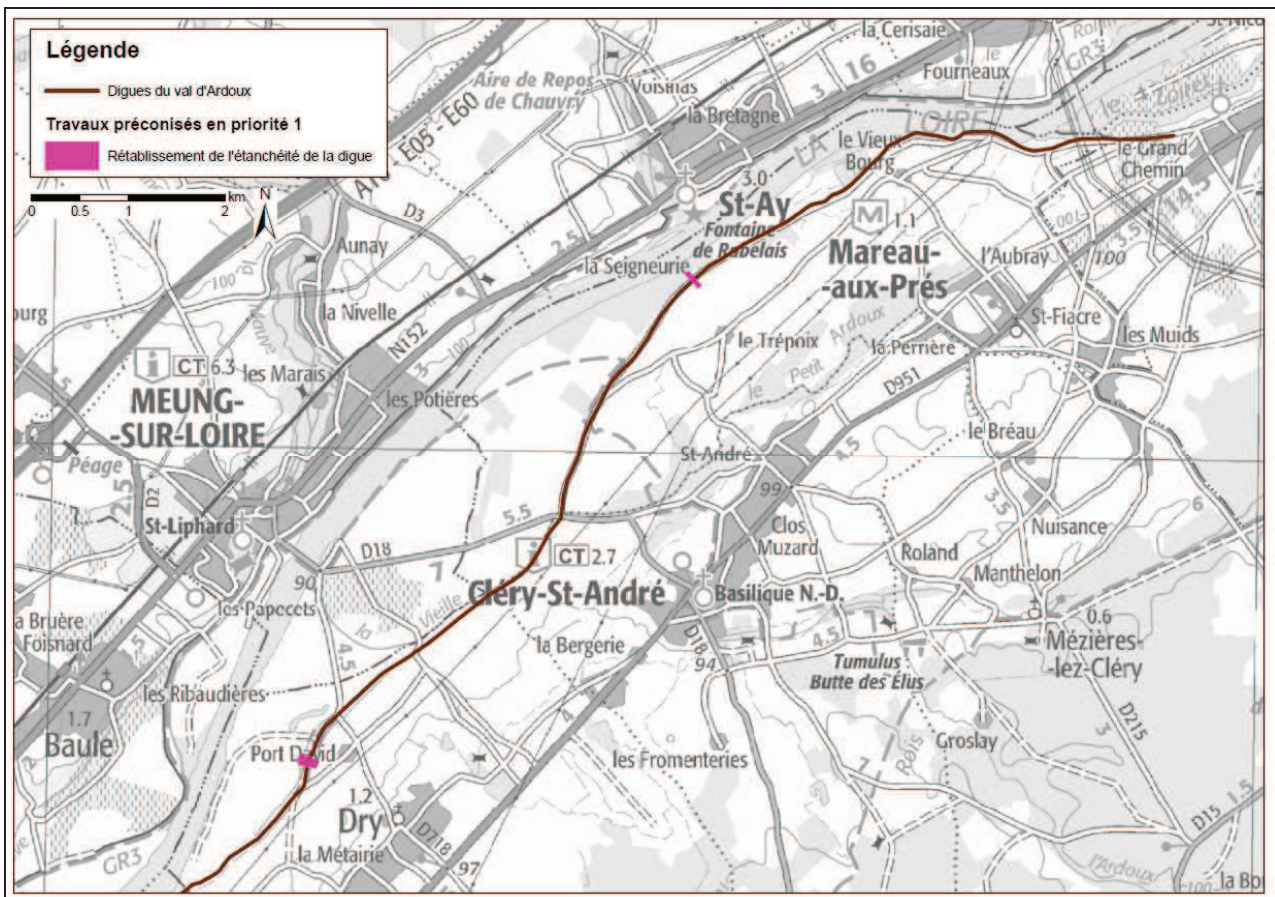


Figure 11. Travaux préconisés – partie amont du système d'endiguement du val d'Ardoux

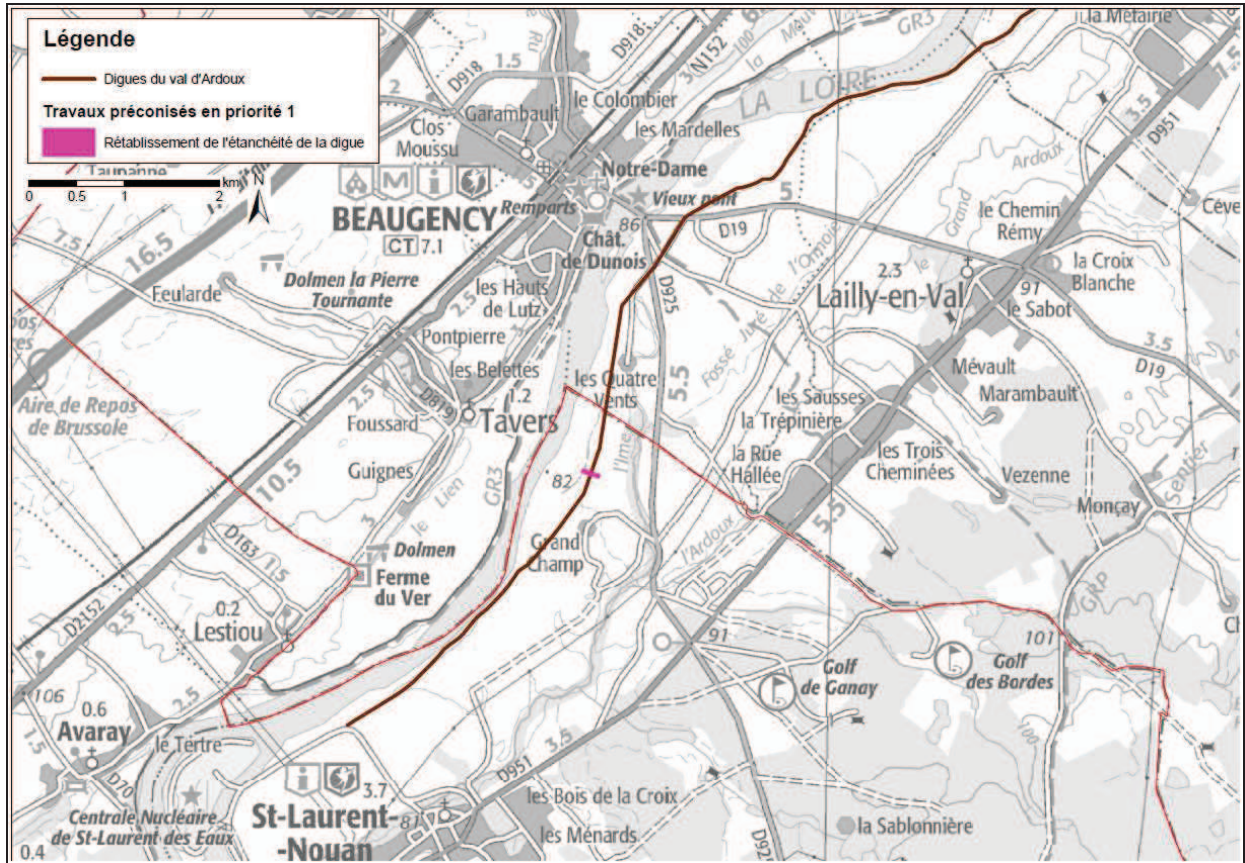


Figure 12. Travaux préconisés – partie médiane du système d'endiguement du val d'Ardoux

0.6.4.2 Estimation financière des travaux préconisés

Pour réaliser une estimation financière des travaux préconisés par type de travaux et par département, les coûts au mètre linéaire suivants ont été utilisés :

Tableau 4. Coût au mètre linéaire par type de travaux préconisé

| Travaux | Coût (€ TTC/ml) |
|--|-----------------|
| Limitation de la pente côté val | 720 |
| Traitement du soulèvement hydraulique | 300 |
| Rétablissement de l'étanchéité de la digue | 1500 |

✓ Travaux préconisés sur la digue d'Ardoux dans le Loiret :

| Type de travaux | Nombre de tronçons concernés | Linéaire de digue concerné (m) | Montant financier estimé des travaux préconisés (€ TTC) |
|--|------------------------------|--------------------------------|---|
| Rétablissement de l'étanchéité de la digue | 3 | 150 | 225 000 |
| TOTAL | 3 | 150 | 225 000 |

✓ Travaux préconisés sur la digue d'Ardoux dans le Loir-et-Cher :

| Type de travaux | Nombre de tronçons concernés | Linéaire de digue concerné (m) | Montant financier estimé des travaux préconisés (€ TTC) |
|--|------------------------------|--------------------------------|---|
| Rétablissement de l'étanchéité de la digue | 1 | 50 | 75 000 |
| TOTAL | 1 | 50 | 75 000 |