

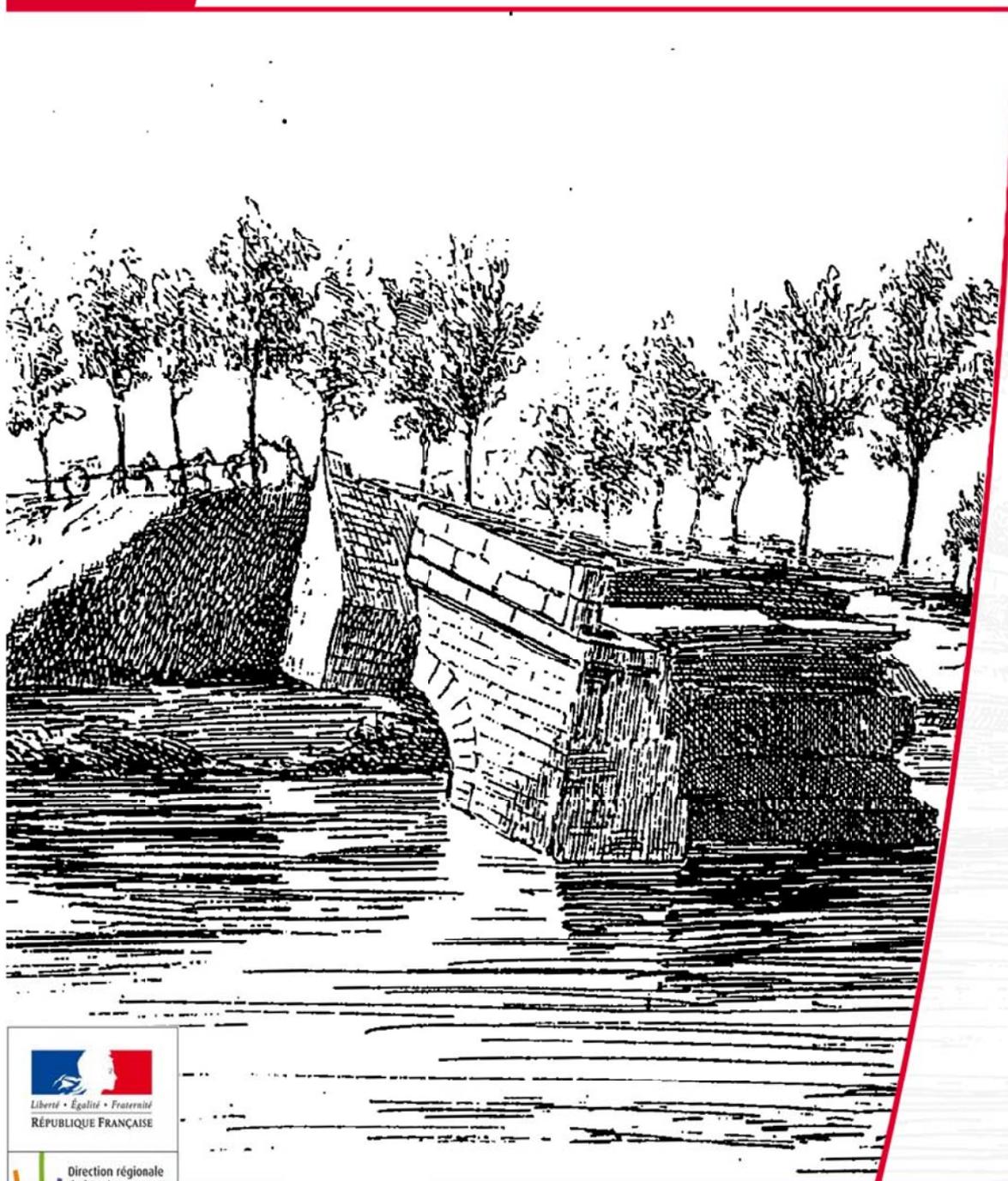
DREAL Centre

Service Hydrométrie –
Prévision des Etiages et
des Crues

Inondation des vals de Tours et de Luynes, et des secteurs non endigués de la Loire et du Cher

Reconstitution des plus hautes eaux connues

Juin 2012



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

Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
1.2	6/06/2012	Corrections de détail
1.1	16/04/2012	Version corrigée et complétée
1.0	16/03/2012	Version originale

Affaire suivie par

Fabien PASQUET - DREAL Centre/Service Hydrométrie, Prévision des Etiages et des Crues
Tél. : 02 36 17 41 95 / Fax : 02 36 17 41 05
Courriel : Fabien.Pasquet@developpement-durable.gouv.fr

Rédacteur

Fabien PASQUET – DREAL Centre – Service Hydrométrie, Prévision des Étiages et des Crues

Cartographie

Yannick JOUSSET – DREAL Centre – Service Hydrométrie, Prévision des Étiages et des Crues

Relecteurs

E. DIDON – DREAL Centre – Service Loire – Bassin Loire – Bretagne

Référence(s) intranet

Sans objet

SOMMAIRE

Sommaire	1
1. Introduction	3
2. Données utilisées et traitements préalables	4
2.1 Topographie	4
2.2 Données relatives aux processus d'inondation des crues historiques	6
2.3 Traitements préliminaires des données	10
3. Description du système d'endiguement	10
4. Déroulement des crues historiques et conséquences sur le val de Tours	12
4.1 Crue de 1846	13
4.2 Crue de 1856	14
4.3 Crue de 1866	15
4.4 Hiérarchisation des grandes crues par val	16
5. Méthodologie de cartographie des hauteurs de submersion par les PHEC	18
5.1 Hypothèses et méthodologie	18
5.2 Analyse et reconstitution des cotes des plus hautes eaux connues	20
5.3 Détermination des hauteurs des submersions provoquées par ces plus hautes eaux connues et cartographie	28
6. Incertitude générale et incertitudes locales de la méthode	32
6.1 Incertitudes sur la reproduction des niveaux atteints par l'eau	33
6.2 Incertitude sur la topographie	34
6.3 Incertitude résultante	35
7. Conclusion	35
Table des figures	37

1. Introduction

L'amélioration des connaissances relatives aux niveaux d'eau atteints par les crues passées sur la Loire et à la topographie du terrain naturel sur le lit majeur du fleuve, conduit aujourd'hui la DREAL Centre à réviser progressivement la cartographie des plus hautes eaux connues (PHEC).

Ce travail s'inscrit dans la continuité de la réalisation des Atlas des Zones Inondables de 2003 (eux-mêmes issus d'une mise à jour d'une cartographie de 1995) et met à profit les nouvelles données disponibles sur :

- les niveaux d'eau atteints par les grandes crues : amélioration du recensement de repères de crue encore existants, recueil de données et témoignages anciens ;
- la topographie locale : la DREAL Centre dispose depuis 2004 d'un levé topographique haute résolution par laser aéroporté de l'ensemble du lit majeur naturel de la Loire entre Nevers et Nantes. La densité de points mesurés atteint au minimum 1 point par 4 m² (et généralement 1 point par m² hors couvert végétal), avec une précision altimétrique de +/- 15 cm. A titre de comparaison, les précédentes cartographies des aléas se basaient sur la BD Alti (maille de 50 m, avec une précision +/- 50 cm).

Le présent rapport technique traite de la reprise de la cartographie des plus hautes eaux connues sur le val de Tours (rive gauche de la Loire, de Montlouis-sur-Loire à Berthenay), les vals de Marmoutier et de Luynes (rive droite de la Loire tous les deux), le val de Villandry (rive gauche du Cher), les zones inondables en rive droite de la Loire et en rive gauche du Cher dans l'agglomération tourangelle, ainsi que le lit majeur endigué. Ces zones couvrent en totalité le périmètre du plan de prévention du risque inondation (PPRI) « val de Tours – val de Luynes », du département d'Indre-et-Loire (une carte de situation est disponible en annexe 1). La cartographie finale est une synthèse des différents niveaux les plus hauts (résultant de crues différentes), constatés dans les conditions hydrauliques de l'époque (indépendamment des évolutions du système d'endiguement ou de la modification de l'occupation des sols), mais sur la topographie d'aujourd'hui.

La note présente les données utilisées et les choix méthodologiques effectués pour reconstituer les cotes des plus hautes eaux connues. Elle commente ensuite les résultats obtenus, tout en indiquant les incertitudes qui y sont attachées.

On se reportera utilement aux annexes 1 et 2 pour la situation des vals de Loire du secteur d'étude, des communes et des lieux-dits cités dans le rapport.

2. Données utilisées et traitements préalables

2.1 Topographie

La donnée altimétrique utilisée est celle issue du levé topographique par laser aéroporté réalisé en 2002 et 2003 par la DIREN Centre, sur la Loire moyenne. Les caractéristiques principales de ce levé sont les suivantes :

- densité de points mesurés : 1 point par 4 m² minimum (y compris sous couvert végétal), atteignant 1 point par m² hors couvert végétal ;
- précision altimétrique : +/- 15 cm ;
- précision planimétrique : +/- 30 cm ;
- résolution du modèle numérique de terrain (MNT) qui en est issu (et qui sera utilisé pour la cartographie) : 1 m².



Figure 1 : extrait du semis de points terrain mesurés (rond-point du pont de Vouvray)

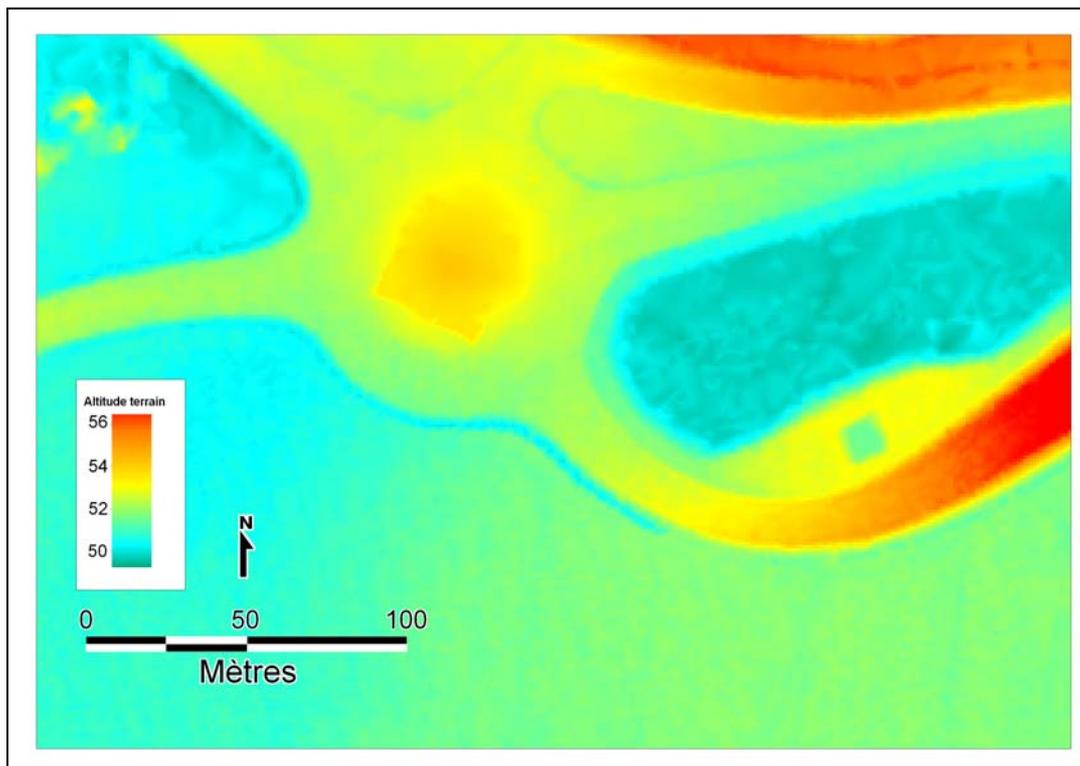


Figure 2 : extrait du modèle numérique de terrain de résolution 1 m² issu de ce semis (même zone)

2.2 Données relatives aux processus d'inondation des crues historiques

Les sources utilisées sont :

- la « Carte topographique du cours de la Loire » élaborée de 1848 à 1855, à l'échelle 1/20 000, « d'après un programme dressé par une commission d'Inspecteurs des Ponts et Chaussées ». Cette carte, communément appelée « carte de 1850 » ou « carte de Coumes » (du nom de l'ingénieur en charge de la réalisation du projet), est un des éléments principaux issus du programme d'étude de la Loire, élaboré suite à la crue de 1846 (l'implantation d'un réseau d'échelles limnimétriques en est un autre). Elle porte, en particulier, le contour de l'inondation résultant de la crue de 1846 et un recensement des brèches des grandes crues (1846 et antérieures). Certains exemplaires de cette carte ont par la suite été surchargés avec le contour des inondations résultant des crues de 1856 et 1866, ainsi qu'avec les sites de brèches de 1856 et 1866, les zones de surverse généralisée sur la digue, quelques repères de crue, les sites d'infiltration sous la levée... ;



Figure 3 : extrait de la carte de 1850 sur Tours sur lequel on voit les contours des inondations de 1856 (en trait continu jaune) et de 1866 (en trait continu rouge). A gauche de l'image, la flèche jaune coupant le canal correspond à la rupture de la gare du canal, et celles s'appuyant sur la digue, aux infiltrations dans la digue (présentation non conventionnelle, le Nord est dans le coin inférieur gauche de la carte)

- le « nivellement sur les deux rives de la Loire entre Briare et Nantes, exécuté de 1854 à 1862 » par les Ponts et Chaussées. Ce nivellement présente le profil en long des levées ainsi que les profils en long du fil d'eau des crues de 1856 et 1866 ;

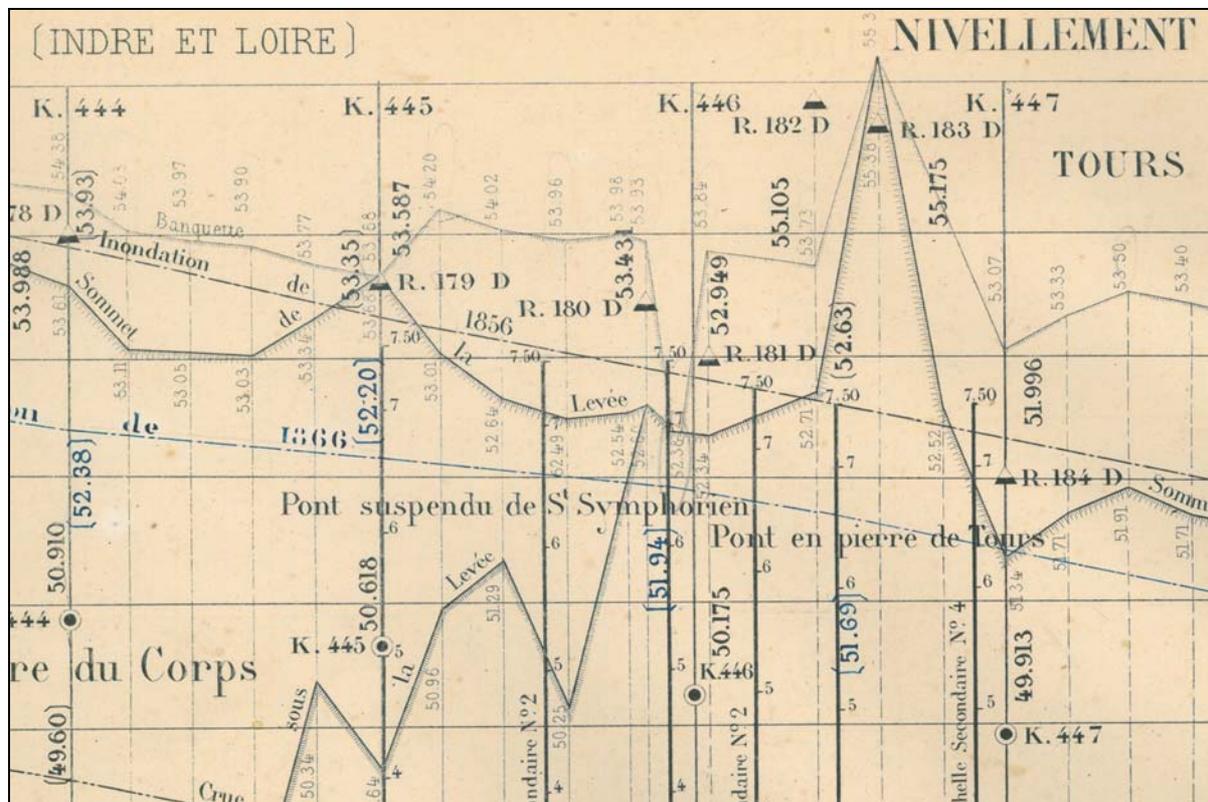


Figure 4 : extrait du nivellement de la Loire (1854 – 1862) sur le secteur de Tours (on remarquera la représentation du fil d'eau des crues de 1856 et 1866 (respectivement en pointillés noirs et bleus), les niveaux atteints par ces crues (entre parenthèses de mêmes couleurs), le tracé du sommet de la levée et celui de la banquette. Les traits verticaux correspondent aux bornes de Loire (kilométriques))

- le recensement des repères de crue de la DREAL Centre, réalisé principalement entre 2000 et 2003, à partir des repères physiquement encore présents sur le terrain, ou mentionnés dans divers documents (recensements parfois plus anciens). On notera le faible nombre de repères encore existants dans la partie amont du val de Tours et dans Tours même, ce qui rend la reconstitution des plus hautes eaux connues délicate à partir de ces seules données. On dispose en revanche de données nombreuses sur le Cher qui permettront d'établir sans trop d'imprécisions le niveau des plus hautes eaux connues du Cher ;

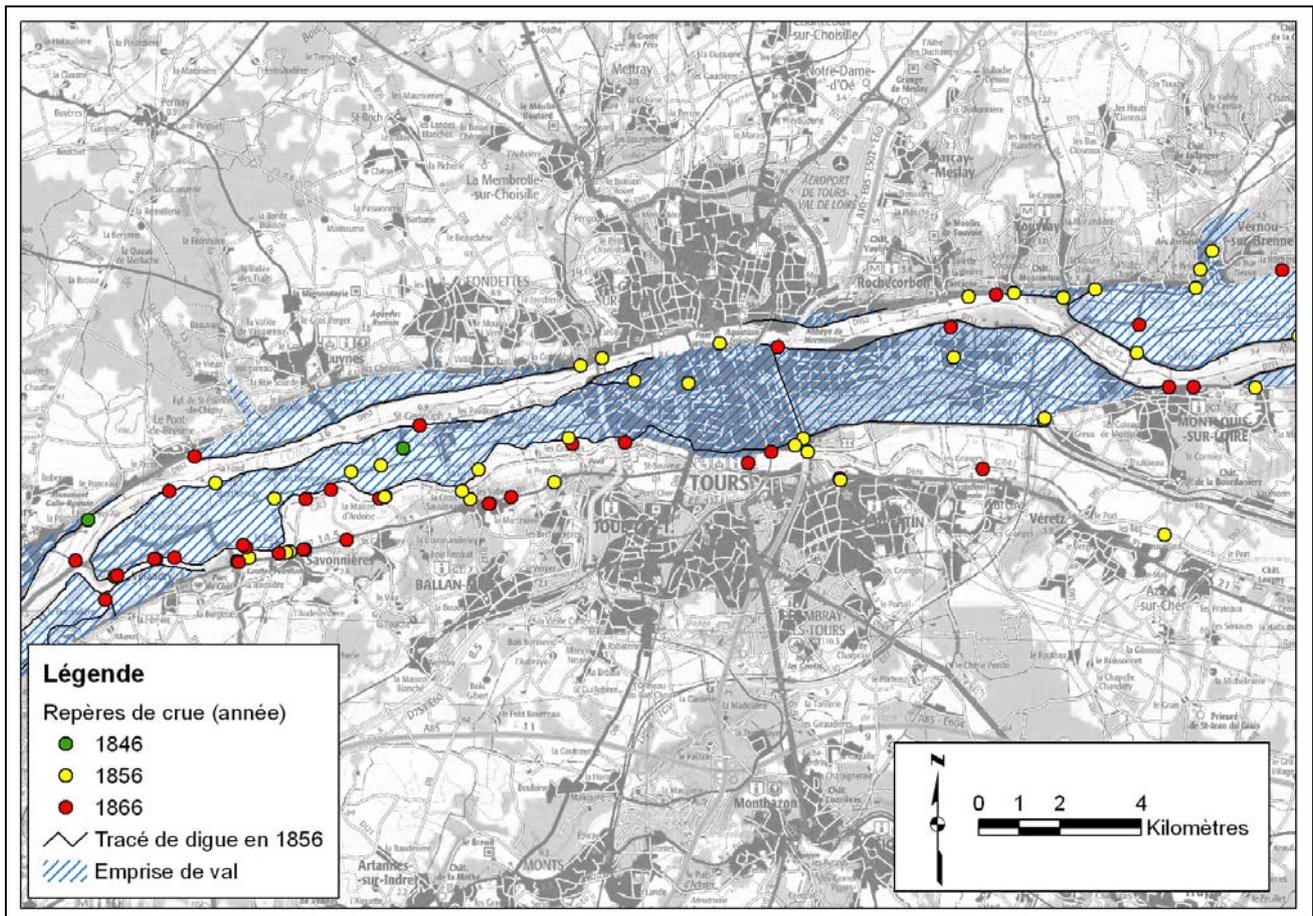


Figure 5 : situation de l'ensemble des repères de crue disponible sur le val de Tours et alentours (recensement DREAL Centre et LRPC) (fond Scan100 IGN). Les témoignages issus de l'ouvrage de M. Rouillé-Courbe sont visibles sur la figure 6, les mesures en lit endigué sur les annexes 3 et 4.

- l'ouvrage « Inondations du département d'Indre-et-Loire – 1846-1856 » de M. Rouillé-Courbe, philanthrope tourangeau, retraçant objectivement le déroulé des crues de 1846 et 1856, recensant les désordres et hauteurs atteintes en différents endroits, dans Tours en particulier. Le repositionnement de ces nombreux témoignages (environ 90) sur la topographie actuelle a permis d'identifier une soixantaine de cotes d'inondation dans Tours même, qui s'avèrent cohérentes entre elles, en dépit de l'incertitude inévitable qui perdure sur cette reconstitution (incertitude sur la hauteur rapportée par l'auteur, incertitude sur les modifications de

la topographie depuis 1856). Ce document est donc une source précieuse de renseignements qui complète utilement le recensement des repères de crue physiquement existants (entre autres, on y trouve un témoignage de la hauteur atteinte dans l'église de la Ville-aux-Dames, le seul dans ce secteur) ;



Figure 6 : localisation des témoignages issus de l'ouvrage de M. Rouillé-Courbe, et qualité de la reconstitution de l'altitude qui en est tirée (fond Scan25 IGN)

- l'étude des brèches historiques (DREAL Centre – Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées), un des premiers éléments de l'étude de dangers des digues du val de Tours, qui synthétise les informations issus des documents précédents.

2.3 Traitements préliminaires des données

Les données d'altitudes dont on dispose sont pour certaines anciennes et ne sont généralement pas exprimées en système altimétrique normal (ou IGN 69), actuellement en vigueur en France. Il est donc nécessaire de procéder à des conversions de systèmes altimétriques des nivellements Bourdalouë (pour les données issues du profil en long de la Loire sur ces deux rives) et orthométriques Lallemand (quelques repères de crue).

La conversion système orthométrique – système normal ne pose pas de problème particulier, puisque l'on dispose d'une grille de conversion, fournie par l'IGN. La valeur de conversion est connue précisément et jugée unique sur la zone d'étude :

$$Z_{\text{NGF-IGN69}} = Z_{\text{NGF-Ortho}} + 0,23$$

Concernant la conversion système Bourdalouë – système normal, il est nécessaire de s'appuyer sur des points mesurés dans deux systèmes différents (y compris système orthométrique, puisque l'on connaît la transformation avec le système normal), puisque le système Bourdalouë résulte d'un nivellement local et géométrique. En particulier, il existe un nivellement général des bornes de Loire et des bornes repères, réalisé dans les années 1930 (en système orthométrique), sur lequel sont portées également les valeurs des nivellements Bourdalouë. L'exploitation de ce document, associée à la comparaison des cotes de repères encore existants nous permet donc d'approcher la valeur de conversion entre système Bourdalouë et système normal sur le secteur de Tours, à quelques centimètres près (ce qui est compatible avec l'incertitude générale de la méthode : voir le chapitre correspondant) :

$$Z_{\text{NGF-IGN69}} \approx Z_{\text{Bourdalouë}} - 0,55$$

C'est donc cette valeur qui sera utilisée pour la transformation des laisses de crue du Profil en long de la Loire sur ses deux rives.

Par mesure de simplification, dans la suite du document, toutes les cotes seront annoncées dans le système NGF normal (ou NGF – IGN69), actuellement en vigueur, même si les données sont au départ exprimées dans un système altimétrique différent.

3. Description du système d'endiguement

Le système d'endiguement dans le secteur d'étude est composé des ouvrages suivants (voir annexes 1 et 2) :

- la digue du val de Tours, rive gauche de la Loire, débutant à Montlouis-sur-Loire et se terminant à Berthenay (au Bec de Cher, confluence du Cher et de la Loire), et rive droite du Cher, également entre Montlouis-sur-Loire et Berthenay, délimitant le val de Tours et protégeant ses nombreux enjeux. Des modifications importantes de la digue rive droite du Cher ont été effectuées au cours du XX^{ème} siècle lors des travaux de recalibrage du Cher : la digue de Rochepinard (en amont de l'actuelle

autoroute A10) a été doublée par une nouvelle levée plus proche du lit (et délimitant une zone sur laquelle ont été implantés le parc des expositions et des installations sportives) ; la zone située entre le pont de Bordeaux et l'amont du boulevard périphérique ouest a quant à elle été complétée par un remblai massif entre la digue et le Cher (quartier des grands ensembles des Rives du Cher). De façon plus anecdotique à l'échelle du secteur, la digue de Loire dans les centre-bourgs des communes de Saint-Genouph et Berthenay a été doublée par une nouvelle levée, permettant une meilleure protection des enjeux présents sur l'ancienne digue ;

- en rive gauche du Cher, des aménagements ont également été effectués au cours du XX^{ème} siècle : endiguement proche du Cher protégeant le quartier de grands ensembles des Fontaines ; remblai du quartier des Deux-Lions ;
- la digue du val de Husseau (communes de Lussault-sur-Loire et de Montlouis-sur-Loire). Il s'agit d'un val essentiellement rural.
- la partie aval de la digue du val de Cisse, qui débute très en amont, à l'aval de la commune de Blois, pour se terminer à Vouvray, à la confluence de la Cisse et de la Loire. L'agglomération de Vouvray bénéficie quant à elle de la protection supplémentaire d'une digue de 900 mètres entre le coteau et le pont sur la Cisse (digue qui la protège du remous de la Loire dans la Cisse). Si le val de Cisse joue un rôle sur les niveaux atteints dans la Loire le long du val de Tours amont, il n'est cependant pas étudié dans le cadre de ce travail, car hors du périmètre du PPRi « Val de Tours – val de Luynes » ;
- la digue du val de Marmoutier, en rive droite de la Loire, délimitant un val de petite taille sur les communes de Rochecorbon et Tours (en amont du pont Mirabeau), comprenant quelques enjeux ;
- la digue du val de Luynes, en rive droite de la Loire, depuis Fondettes jusqu'à Saint-Etienne-de-Chigny. Le val comprend des enjeux non négligeables, à Fondettes (lieu-dit Vallière), à Luynes et le long de la digue ou en pied de coteau ;
- la digue du val de Villandry et celle des vals de Bréhémont et du Vieux Cher. Le val de Villandry est de petite taille et entièrement rural. Les vals de Bréhémont et du Vieux-Cher (difficilement dissociables étant donné leur fonctionnement commun) sont quant à eux très grands et présentent de nombreux enjeux. Ils ne sont cependant concernés que dans leur partie amont, sur la commune de Villandry. Cette zone correspond à l'aval immédiat des déversoirs de sécurité construits dans le cadre du programme de la commission des inondations de l'ingénieur Comoy, entre 1888 et 1891. Ces ouvrages postérieurs aux grandes crues ont été construits au droit de brèches importantes constatées lors de ces événements.

Au-delà de ces ouvrages spécifiquement dédiés à la protection contre les inondations, on notera la présence de la voie ferrée Orléans – Tours puis Tours - Nantes, traversant longitudinalement et entièrement le val de Tours, depuis Montlouis jusqu'à Berthenay, construite *a priori* entre 1846 et 1856. L'embranchement Tours – Le Mans, passant par le pont Saint-Côme, a été construit entre les crues de 1856 et 1866, et a joué un rôle dans la limitation de l'inondation de 1866.

De plus, le canal entre Loire et Cher, actuellement disparu sous le tracé de l'autoroute A10, coupe le val de Tours en deux. Son rôle n'a pas été négligeable car, si ses digues furent rompues en 1856, elles limitèrent l'inondation en 1866 à la partie amont.

Enfin, les glacis des anciennes fortifications de la ville de Tours (dont le tracé correspond aux actuels boulevards Heurteloup et Béranger) subsistaient au milieu du XIX^{ème} siècle (ils sont aujourd'hui disparus). Ils ont contraint les écoulements, sauf au droit de la gare de Tours, dont la construction en 1846 a nécessité leur arasement à cet endroit. C'est entre

autre par cette ouverture que le centre ancien de Tours (à l'intérieur des anciens remparts) a été inondé en 1856.

Ces ouvrages séparent le val de Tours en trois grandes parties :

- à l'amont de l'autoroute A10 / ancien canal (val de Tours amont) ;
- entre l'autoroute A10 / ancien canal (val de Tours centre, au sein duquel peut être également délimité le centre ancien, à l'intérieur des anciens remparts, actuels boulevards Heurteloup et Béranger) ;
- à l'aval de la voie ferrée Tours – Le Mans (val de Tours aval).

Enfin, les différents remblais élevés depuis cette époque ne seront pas pris en compte : en effet, une des hypothèses principales de cette reconstitution est celle de se replacer dans les conditions dans lesquelles ont été observées les plus hautes eaux connues (en l'occurrence le milieu du XIX^{ème} siècle). Les modifications non prises en compte sont donc principalement les remblais de la voie TGV, ceux de la gare de triage de Saint-Pierre-des-Corps, ceux du boulevard périphérique ouest (actuelle RD37) ou les aménagements du Cher (remblais des quartiers des Rives du Cher et des Deux-Lions, digue du quartier des Fontaines).

4. Déroulement des crues historiques et conséquences sur le val de Tours

Les épisodes de crue choisis pour la réalisation de la cartographie des plus hautes eaux connues correspondent aux grandes crues du milieu du XIX^{ème} siècle (1846, 1856, 1866) qui sont les plus hautes et les mieux connues dans le lit endigué sur le secteur, au moins lors de la période historique (le système d'endiguement, responsable de l'augmentation des niveaux, atteignant presque son ampleur actuelle à cette époque, aux aménagements du Cher près). Des crues plus grandes encore ont pu avoir lieu antérieurement, mais au sujet desquelles on ne dispose pas de description précise. La crue de 1846, la plus ancienne, est la moins renseignée des trois. Les éléments qui suivent sont donc plus détaillés pour les crues de 1856 et 1866, qui serviront de base principale pour la présente étude.

De manière générale, on ne dispose pas de renseignements très précis pour estimer l'ampleur des inondations du val de Luynes et du val de Marmoutier.

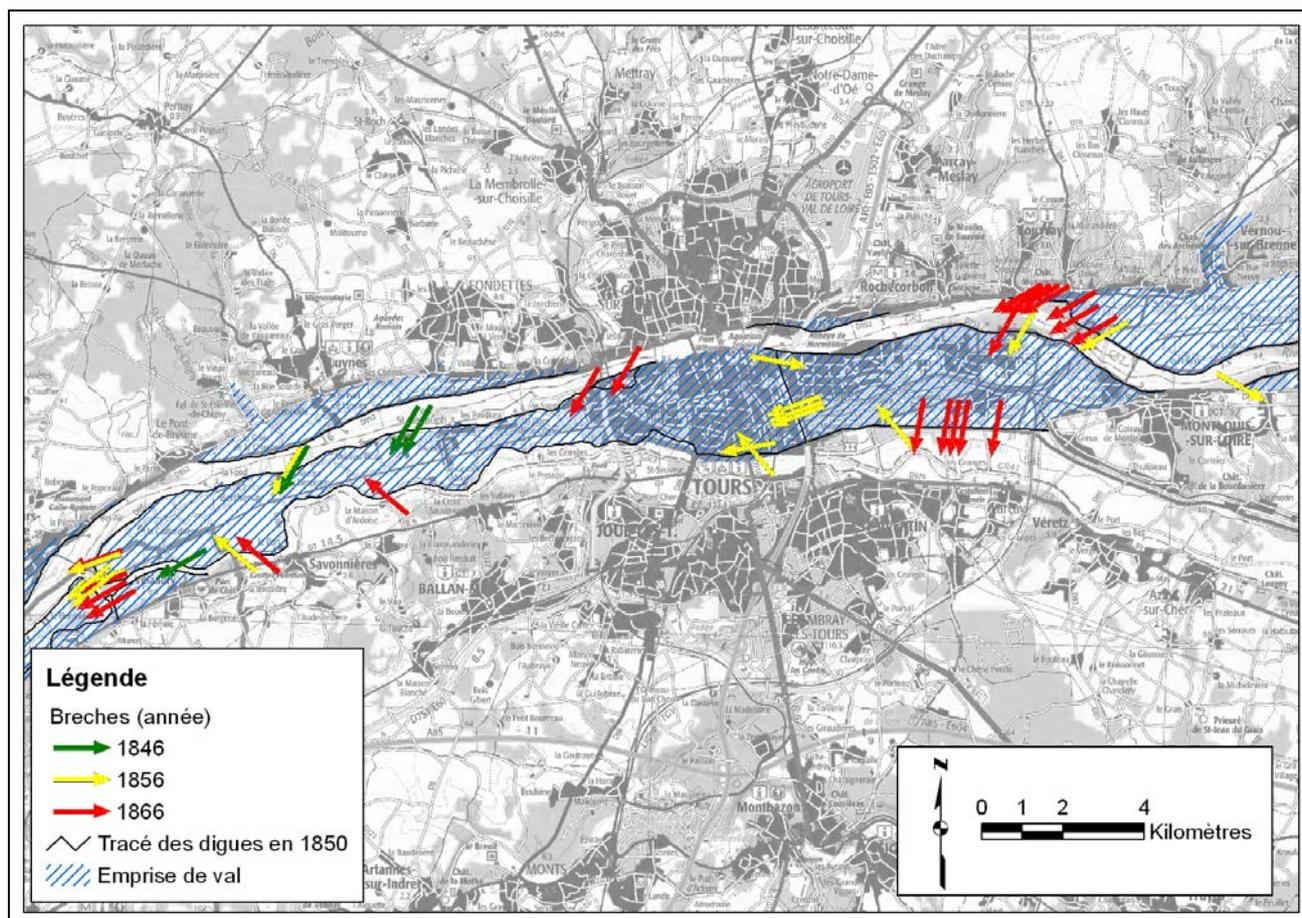


Figure 7 : localisation des ruptures de digue dans la région de Tours en 1846, 1856 et 1866 (fond Scan100 IGN). On constate le caractère souvent répétitif des brèches en terme de localisation

4.1 Crue de 1846

La crue d'octobre 1846 (7,15 m à l'échelle principale et historique de Tours, sur la culée rive gauche amont du pont Wilson sur la Loire, équivalent à plus de 9,1 m à l'échelle actuelle de Tours Mirabeau) n'a pas provoqué de brèche sur le val de Tours dans sa partie amont. Les ruptures de digues ont été observées en aval uniquement, sur la Loire, sur les communes de Saint-Genouph (lieu-dit la Bise) et de Berthenay (lieu-dit la Fouquerie), comme sur le Cher (au port de Villandry, sur la commune de Berthenay de nouveau, face à Villandry même). Les niveaux atteints ont été tels que la digue a rompu en retour au niveau du Bec de Cher. L'inondation a été limitée à la partie aval du val de Tours (à partir de la commune de la Riche). Il s'agit de la moins élevée des trois inondations dans le val de Tours.

Le val de Husseau a visiblement été submergé par la crue de 1846, mais nous ne disposons pas d'information nous permettant d'estimer les niveaux atteints.

4.2 Crue de 1856

La crue de 1856 (sur la Loire : 7,52 m à l'échelle principale et historique de Tours, en amont rive gauche du pont Wilson, équivalant à plus de 9,6 m à l'échelle actuelle du pont Mirabeau ; sur le Cher : 5,72 m à l'écluse de l'ancien canal entre Loire et Cher, équivalant à 6,26 m à l'échelle du pont Sanitas sur le Cher) est la crue emblématique sur le secteur de Tours. Il s'agit en réalité d'un ensemble de crues importantes sur les mois de mai et de juin, dont le maximum a été observé début juin.

On observa en premier lieu (le 2 juin) une brèche sur la levée de Rochepinard, en rive droite du Cher. Elle fut suivie par la brèche de la gare du canal permettant l'entrée des eaux de la Loire dans la partie amont du val (Saint-Pierre-des-Corps). La brèche majeure sur la digue de Loire au lieu-dit Conneuil (commune de La Ville-aux-Dames et non de Montlouis-sur-Loire comme réputé jusqu'à présent, légèrement en aval de la brèche en retour sur la digue du val de Cisse) suivit et fut à l'origine de la submersion totale du val de Tours dans sa partie amont. Le canal (dont le tracé est aujourd'hui occupé par l'autoroute A10) céda par la suite en son centre, sous la pression des eaux de l'amont pour inonder la partie centrale du val de Tours, où l'inondation vint rompre les ouvrages de l'avenue de Grammont (pont de la ligne de Nantes, pont de l'Archevêché).



Figure 8 : illustration de la brèche du canal, à l'origine de l'inondation du centre de Tours. Illustration tirée de l'ouvrage de M. Rouillé-Courbe « Les inondations du département d'Indre-et-Loire »

Le centre ancien de Tours (intramuros) fut inondé par les eaux arrivant des brèches du canal, au niveau de la gare ferroviaire. En effet, pour la construction de ce bâtiment (inauguré en 1846), il fut nécessaire d'abattre une partie du rempart de la ville. C'est par cette ouverture que l'inondation progressa naturellement vers l'aval et « par remous » vers les quartiers amont, encore protégés par le rempart.

La partie aval du val fut soumise à une rupture sur la digue de Loire, à la Fouquerie (commune de Berthenay) et sur la digue du Cher, au port de Savonnières (commune de Berthenay également). L'inondation de cette partie du val provoqua des brèches en retour au Bec de Cher.

La crue de 1856 a inondé là encore le val de Husseau, par l'intermédiaire d'une brèche à l'aval du val (brèche dite de Bondésir).

Chronologie synthétique des événements de la crue de 1856

- 2 juin – 16 h : brèches de la levée de Rochepinard sur le Cher
- 2 juin – 22 h : brèche de Savonnières sur le Cher
- 2 juin – 23 h : brèches en retour vers la Loire et le Cher
- 3 juin – 21 h : brèche du val de Bréhémont
- 3 juin – 21 h 30 : brèche de la gare du canal et inondation du val amont
- 3 juin – 23 h : le pont de la gare du canal (pont de la route d'Amboise) s'écroule
- 3 juin – 23 h 30 - minuit : brèche de Conneuil (la Ville-aux-Dames)
- 3 juin – 23 h 30 : brèches de la digue du canal et inondation du centre de Tours
- 4 juin – 2 h 30 : l'onde de la brèche de Conneuil arrive au canal
- 4 juin – 3 h : les brèches de la digue du canal sont complètement formées
- 4 juin – 3 h : brèche de la Fouquerie
- 4 juin – 4 h 30 – 5 h : rupture du pont de la ligne Nantes sur l'avenue de Grammont
- 4 juin – 13 h : effondrement du pont de Savonnières

4.3 Crue de 1866

Lors de la crue de 1866 (6,59 m à l'échelle principale et historique de Tours, équivalent à 8,5 m à l'échelle actuelle de Tours Mirabeau), la digue du val de Tours, côté Loire rompit de nouveau à Conneuil, provoquant l'inondation de la partie amont du val (communes de La Ville-aux-Dames et Saint-Pierre-des-Corps) et des brèches en retour sur la digue du Cher. La digue du canal résista néanmoins, préservant ainsi le centre de Tours de l'inondation.



Figure 9 : Photographie de l'inondation de 1866 dans la partie amont du val de Tours (probablement depuis les tours de la cathédrale St-Gatien). On distingue le canal, qui a préservé le centre de Tours lors de cette inondation. Illustration tirée de l'ouvrage de R. Dion « Le Val de Loire »

A l'aval de Tours, la digue de Loire résista mais la digue du Cher céda en deux endroits : au Pavillon (commune de Saint-Genouph) et au port de Savonnières (commune de Berthenay). La submersion totale du val provoqua là encore des brèches en retour au Bec de Cher. Comme on l'a dit plus haut, la présence du remblai de la voie ferrée Tours – le Mans empêcha l'inondation de progresser depuis l'aval jusque dans Tours même.

4.4 Hiérarchisation des grandes crues par val

La cartographie dont nous traitons ici est bien celle relative aux plus hautes eaux connues, quel que soit l'épisode ou le secteur. Il résulte de l'analyse des phénomènes décrits ci-dessus (à travers la carte de 1850 et les repères et laisses de crue) et de la lecture des documents anciens, que :

- dans le val de Tours amont (amont de l'ancien canal entre Loire et Cher, aujourd'hui tracé de l'autoroute A10) : l'inondation la plus forte retenue est celle de 1856 autant que l'on puisse en juger à partir des quelques données exploitables. Il existe bien un repère de 1866 à Rochepinard (commune de Montlouis-sur-Loire) plus haut que ceux de 1856, mais étant le seul sur le val pour cette crue, il n'est pas vérifiable ni exploitable ;

- dans la partie centrale de Tours (entre le canal / autoroute A10 et la voie ferrée Tours – le Mans), l'inondation la plus forte (car la seule renseignée) est celle de 1856 ;
- dans la partie aval du val de Tours (entre la voie ferrée Tours – le Mans et le Bec de Cher), les niveaux les plus hauts sont ceux de 1856 et 1866, selon les endroits ;
- dans le val de Husseau, l'inondation de 1856 sera estimée comme la plus forte. On ne dispose en effet pas de renseignement sur l'inondation de 1846 permettant d'en connaître l'ampleur ;
- dans le lit majeur endigué de la Loire comme du Cher, la crue de 1856 est assez nettement la plus forte en amont de Tours (1856 est la crue historique du Cher). En aval, les deux crues sont équivalentes (les niveaux de 1866 sont en partie provoqués par l'arrivée des eaux de la Loire dans le Cher) ;



Figure 10 : repères des crues du Cher à Savonnières. On notera la marque de la crue du 13 mai 1856, 3 semaines avant la grande crue du 4 juin 1856. La crue de 1866 est d'un niveau similaire (12 cm d'écart ici)

- dans le val de Marmoutier : on ne dispose pas d'information précise pour évaluer correctement le niveau de l'inondation la plus forte. On sait toutefois par l'ouvrage de M. Rouillé-Courbe que « sur la levée de Saint-Georges deux brèches se firent, une troisième s'ouvrit en face de la propriété du grand séminaire ». Etant donnée la taille limitée du val, on peut estimer qu'il s'est rempli entièrement. Les niveaux atteints peuvent donc être approchés par le niveau observé en Loire ;
- dans le val de Luynes : là encore, les quelques éléments, incohérents, dont nous disposons (contour figurant sur la carte de 1850, témoignages) ne nous permettent pas de conclure quant au niveau atteint. On sait seulement que les trois grandes crues du XIX^{ème} siècle n'ont pas provoqué de brèches. L'inondation provenait dans ces trois cas uniquement du remous de la Bresme, *a priori* bloquée dans son

écoulement par un ouvrage anti-retour (pour autant qu'on puisse en juger en comparant niveau en Loire et contour figurant en surcharge sur la carte de 1850). On pourra uniquement estimer l'étendue de la zone inondable maximale en considérant des niveaux similaires à ceux observés en Loire. Les hauteurs de submersion qui en découleraient ne seront pas cartographiées ;

- dans le val de Villandry : pas de brèche recensée en 1846, 1856 ou 1866. L'inondation du val a été provoquée par la remontée du Cher dans l'affluent drainant le val. On procédera de la même manière pour évaluer la zone inondable que dans le cas du val de Luynes ;
- dans le val de Bréhémont : de grandes brèches ont été observées en 1856 et 1866 au niveau du Bec de Cher, à l'emplacement des déversoirs actuels. Le territoire de la commune de Villandry dans ce val a donc été impacté par les écoulements en provenant. Il n'est matériellement pas possible de reproduire les niveaux atteints dans ces conditions, et les laisses de crue disponibles sont trop éloignées les unes des autres (un site au droit des déversoirs le long de l'ancien lit du Cher, indiquant des niveaux supérieurs à 44,2 m NGF IGN69 en 1856 et 1866 sans que l'on sache s'il est possible de les extrapoler sur la largeur totale du val, puis à la Chapelle-aux-Naux et Lignière-de-Touraine, respectivement à 5,7 et 7 km plus en aval). On se contentera d'identifier l'extension maximale de la zone inondable en utilisant les niveaux observés en Loire, comme pour les vals de Luynes et Villandry.

Pour les secteurs où la détermination des hauteurs de submersion est impossible faute d'éléments cohérents et/ou probants, l'aléa pourra y être connu par d'autres approches (en particulier par les modélisations hydrauliques déployées dans le cadre des études de dangers).

5. Méthodologie de cartographie des hauteurs de submersion par les PHEC

5.1 Hypothèses et méthodologie

La cartographie des hauteurs de submersion provoquées par les PHEC se base sur trois étapes successives :

1. Détermination des altitudes atteintes lors de chacun des principaux événements : travail effectué sur des secteurs « hydrauliquement homogènes » (c'est-à-dire sans discontinuité hydraulique), et dans les conditions de l'époque que l'on peut reconstituer (sur la zone d'étude, ces secteurs correspondent à chacun des vals et au lit majeur endigué). Cette reconstitution se concrétise par le tracé de lignes d'égale altitude de l'eau (ou « isocotes »), suivie de leur interpolation spatiale. Elle nécessite en elle-même les trois étapes suivantes :
 - une exploitation des repères et marques de crue, pour estimer l'altitude atteinte, complétée par une analyse de la pente du val, là où l'on manque de données. En effet, dans des conditions d'écoulement permanent et uniforme (c'est-à-dire loin de perturbations comme celles provoquées par une brèche), on peut estimer que la pente de l'écoulement est la même que la pente

- générale du val (hypothèse classique en hydraulique). Le positionnement des isocotes conditionne la qualité du résultat de la démarche. Il est en effet primordial de les placer de façon à représenter au mieux les phénomènes hydrauliques particuliers (principalement les pertes de charge, représentées par des isocotes très rapprochées) pour contraindre l'étape suivante d'interpolation. Les éventuelles imprécisions restantes sont alors négligeables devant l'incertitude générale de la méthode (incertitude sur les cotes, incertitude sur le positionnement de l'isocote) ;
- une interpolation linéaire (non lissée) des isocotes reconstituées, adaptée aux données d'altimétrie et à des données disposées suivant des lignes distantes les unes des autres. Elle respecte également les données mesurées (pas de surestimation ou de sous-estimation au droit de l'isocote par exemple) et ne provoque pas d'anomalie aberrante ;
 - enfin, dans un troisième et dernier temps, une vérification de la cohérence spatiale de la reconstitution et la représentation correcte des phénomènes (évolution de la pente, pertes de charge) ;
2. Synthèse pour déterminer l'altitude des PHEC : combinaison des précédentes reconstitutions, pour obtenir l'altitude des PHEC correspondant en chaque point au plus haut niveau d'eau atteint connu. Cette synthèse peut ne pas correspondre à un événement unique mais à une combinaison d'événements, que ce soit sur un seul secteur ou sur l'ensemble de la zone d'étude. On ne fera donc pas au final référence à la cartographie d'une inondation spécifique, mais bien à celle des plus hautes eaux connues. La synthèse est établie sur tout le secteur, sans préjuger du caractère finalement inondé ou non des zones concernées (puisqu'il s'agit bien de les délimiter au final) : ainsi, dans le cas présent, on étendra la synthèse des plus hautes eaux sur le centre de Tours, même si l'on sait qu'il a été en partie préservé ;
 3. Calcul de la hauteur de submersion correspondant aux PHEC : une soustraction de la synthèse obtenue ci-dessus correspondant à l'altitude des PHEC (altitudes absolues) avec l'altitude du terrain connue via le levé aéroporté (altitudes absolues également), pour obtenir la hauteur de submersion (valeur relative à l'altitude du sol). Soit, si Z correspond à une altitude et H à une hauteur :

$$H_{\text{eau}} = Z_{\text{eau}} - Z_{\text{terrain naturel}}$$

Sur le secteur d'étude considéré ici, on notera, que ni les modifications de la géométrie du lit (enfouissement, végétalisation voire tracé dans le cas du Cher) ni les modifications de l'occupation du sol (en particulier les remblais qui ont pu être élevés sur les rives du Cher ou pour supporter le boulevard périphérique ouest) ne seront considérés. On se place dans les conditions hydrauliques de l'époque.

Dans les cas des vals de Luynes, Villandry et Bréhémont, nous nous contenterons de tracer le contour de la zone maximale inondable (c'est-à-dire le tracé correspondant à $H_{\text{eau}} = 0$ m) dans le cas d'une inondation hypothétique du niveau de ceux observés dans la Loire ou le Cher ($Z_{\text{eau}} = Z_{\text{Loire}}$ ou $Z_{\text{eau}} = Z_{\text{Cher}}$), sans chercher à caractériser les hauteurs de submersion.

5.2 Analyse et reconstitution des cotes des plus hautes eaux connues

5.2.1 *Le lit majeur endigué de la Loire*

La description des niveaux atteints par les grandes crues dans le lit majeur endigué est fournie en grande partie par le nivellement de la Loire réalisé par les Ponts-et-Chaussées (1854 – 1862). La crue la plus haute sur le secteur est celle de 1856, assez nettement. La hauteur à l'échelle principale de Tours (pont Wilson) l'illustre bien : 7,52 m en 1856, contre 7,15 m en 1846 et 6,59 m en 1866. La cohérence entre les deux rives n'est pas parfaite, mais l'écart est en général limitée à une trentaine de centimètres. De manière générale, les niveaux les plus hauts sont privilégiés, en partant du principe qu'une laisse identifiée ne peut qu'être en dessous des niveaux maximaux.

La carte présentant les laisses de crue (1856 et 1866) et les isocotes qui en ont été tirées est présentée en annexes 3 et 4.

5.2.2 *Le lit majeur endigué du Cher*

Dans le cas du Cher, la description des niveaux atteints par les grandes crues est fournie principalement par les repères et laisses de crue recensés. En effet, du fait du caractère canalisé et navigable du Cher, de nombreux ouvrages (écluses, maisons éclusières, barrages) existaient déjà au XIX^{ème} siècle, et les niveaux des grandes crues ont pu y être marqués. Le caractère inondable du pied de coteau urbanisé en rive gauche a également favorisé la création de marques de crue.

La crue historique du Cher étant celle de 1856, les niveaux les plus hauts atteints dans la partie amont de la zone d'étude correspondent à cette crue (pour cette raison, la crue de 1866 n'a pas été reconstituée très à l'amont, contrairement à celle de 1856). A partir de Tours (pont du Sanitas), les crues de 1856 et 1866 sont équivalentes, probablement du fait du déversement des eaux du val (elles-mêmes provenant de la Loire) dans le Cher.

Les annexes 3 et 4 présentent les isocotes reconstituées pour les crues de 1856 et 1866 sur le Cher, en même temps que sur la Loire.

5.2.3 *Le val de Tours amont (amont du canal / autoroute A10)*

Il s'agit d'une zone étendue peu renseignée en terme de repères ou laisses de crue. On dispose en effet des renseignements suivants :

- le niveau en Loire au droit de Conneuil (environ 55 m NGF IGN69), qui nous permet d'identifier l'altitude maximale dans la brèche ;
- un repère très douteux (et disparu) à Conneuil (environ 54 m NGF IGN69), qui ne sera pas pris en compte ;
- un site sur le coteau de Rochepinard (commune de Montlouis), à l'extrême amont (51 m NGF IGN69), et un témoignage issu de l'ouvrage de M. Rouillé-Courbe à l'église de la Ville-aux-Dames (51,4 m NGF IGN69) permettant d'identifier les

niveaux loin de la brèche. Rappelons que le repère de 1866 à Rochepinard (51.6 m NGF IGN69) n'est pas pris en compte, car le seul pour cet événement ;

- les niveaux à l'aval du canal (50,5 m NGF IGN69 minimum, assez bien connus, voir plus bas) qui nous permettent d'identifier l'altitude minimale atteinte, à l'aval du secteur ;
- ces niveaux les plus bas permettent de recalculer une ligne d'eau à l'aval de la brèche, sur la base des pertes de charge habituellement observées dans les modélisations hydrauliques de brèche. On déduit ainsi le niveau à l'aval de la brèche : 53,5 m NGF IGN69, ce qui produit une perte de charge depuis les niveaux en Loire (55 m NGF IGN69) vraisemblable. La reconstitution de ces écoulements génère une incertitude croissante en se rapprochant de la brèche (jusqu'à 1 m probablement).

On parvient à déterminer que, dans l'ensemble, loin de la brèche de Conneuil, les niveaux dans le val sont d'environ 51 – 51,5 m NGF IGN69, de manière assez uniforme. On identifie bien ainsi le phénomène de stockage qui s'est produit entre les digues de Loire au Nord, les digues du Cher au Sud, la digue du canal à l'ouest et le coteau à l'est, avant que la digue du canal et celle du Cher cèdent et que l'eau s'évacue dans Tours et dans le Cher. Les niveaux à proximité de la brèche sont quant à eux très incertains, faute d'éléments concrets.

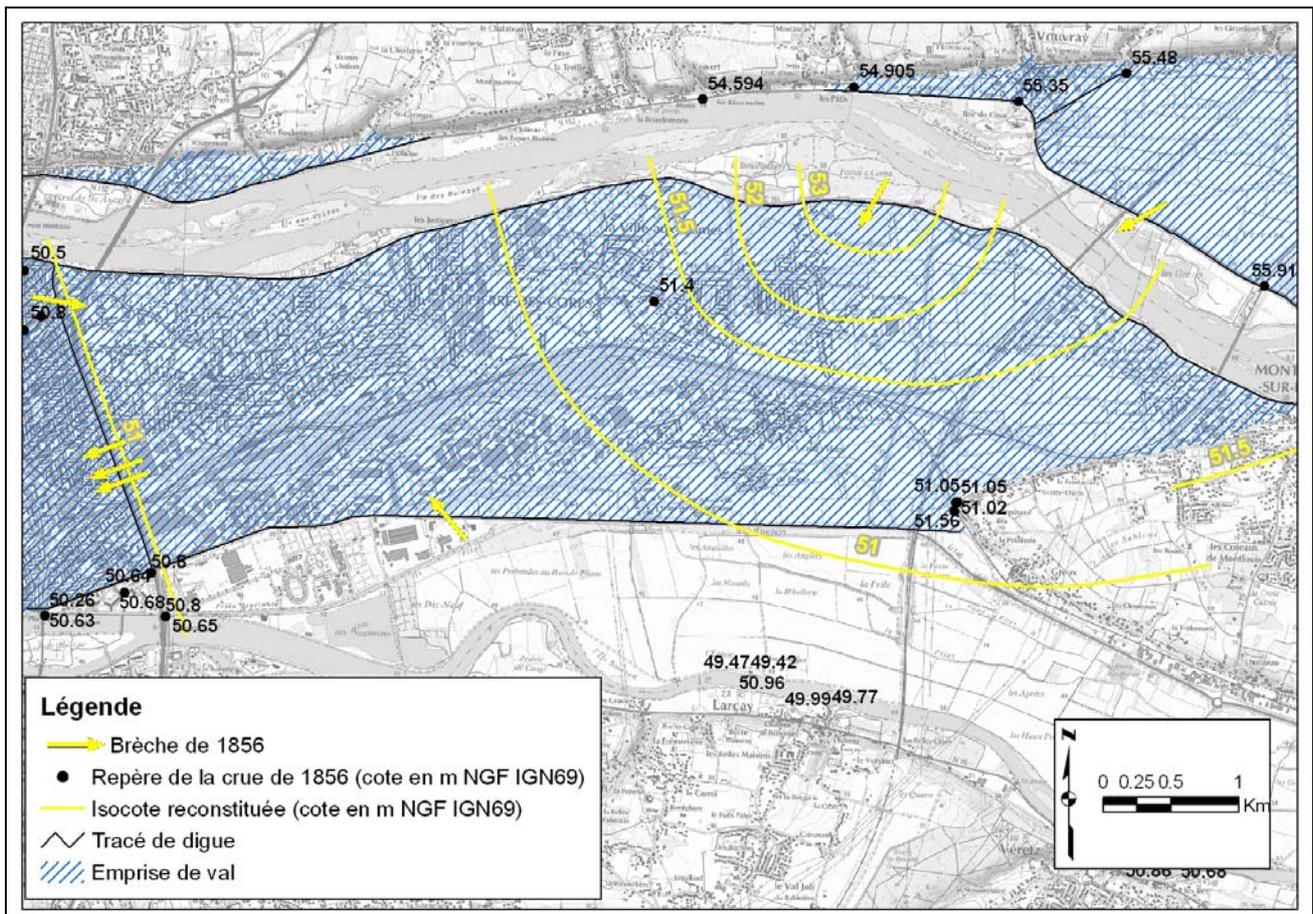


Figure 11 : laisses de la crue de 1856 et reconstitution des niveaux de l'inondation dans le secteur amont du val de Tours (la Ville-aux-Dames, Saint-Pierre-des-Corps) (fond Scan25 IGN)

5.2.4 Le val de Tours dans sa partie centrale

Les niveaux de l'inondation de 1856 dans la partie centrale de Tours sont bien connus grâce à l'exploitation des témoignages de M. Rouillé-Courbe (voir paragraphe 2.2). Ces altitudes s'échelonnent entre 50,5 m NGF IGN69 et 49,5 m NGF IGN69, entre le canal et le boulevard périphérique ouest (RD 37).

On reproduit aussi fidèlement que possible les phénomènes suivants :

- propagation à travers les brèches du canal ;
- propagation à travers l'ouverture créée dans le glacis des anciens remparts de Tours pour la construction de la gare de Tours ;
- remous et stockage dans les « remparts » de Tours à l'amont de la gare ;
- propagation au passage de l'avenue de Grammont, globalement en remblai, mais submergée dans sa partie nord (à proximité des remparts, actuels boulevards Heurteloup et Béranger) et munie d'ouvrages de décharge (pont de l'Archevêché, pont de la ligne de Nantes) ;
- égalisation des niveaux atteints à l'aval des anciens remparts.

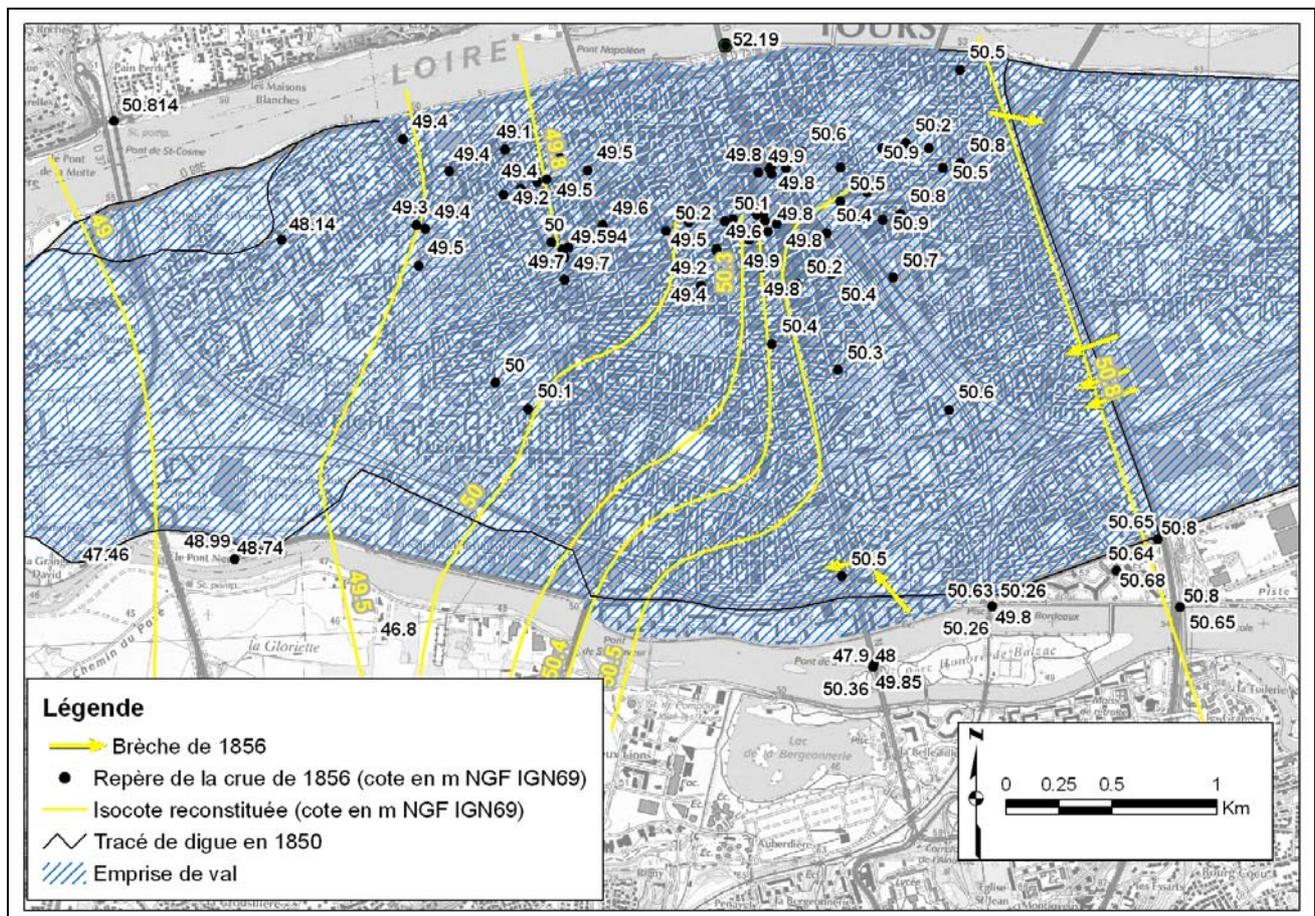


Figure 12 : laisses de crue de 1856 (en majorité des témoignages tirés de l'ouvrage de M. Rouillé-Courbe) et reconstitutions des niveaux de l'inondation dans la partie sud du secteur central du val de Tours (fond Scan25 IGN)

Pour plus de clarté, les reproductions des isocotes dans Tours « intramuros » et dans le reste de la partie centrale du val de Tours sont représentées sur deux illustrations différentes. On souhaite ainsi permettre de bien séparer l'inondation de la partie sud à partir des brèches dans le canal d'une part (figure 12 ci-dessus), de celle de Tours centre à travers l'ouverture dans les remparts au droit de la gare SNCF d'autre part (figure 13 ci-dessous).

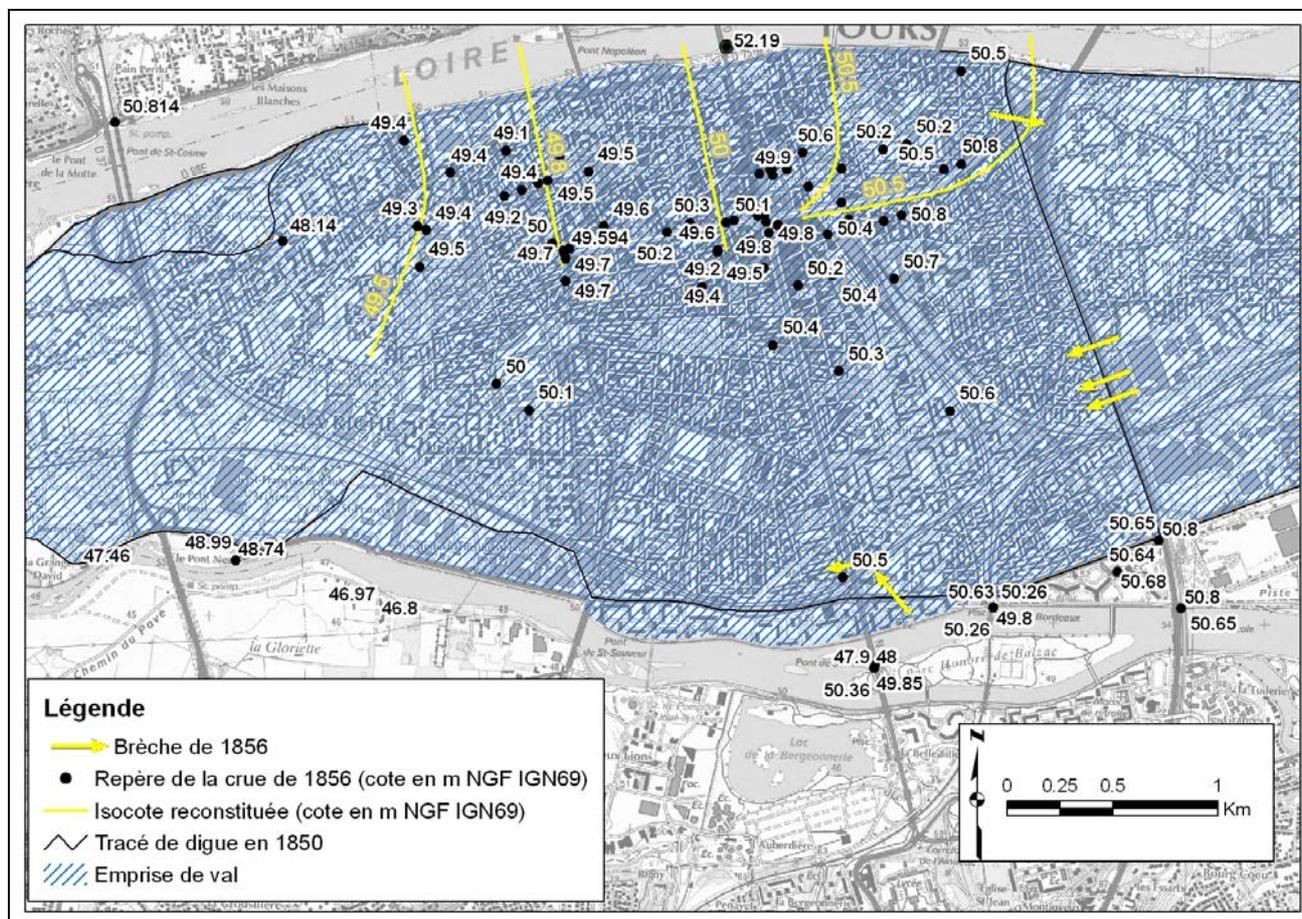


Figure 13 : laisses de crue de 1856 (en majorité des témoignages tirés de l'ouvrage de M. Rouillé-Courbe) et reconstitutions des niveaux de l'inondation dans Tours « intramuros » (fond Scan25 IGN)

On notera que le repère de crue situé sur l'église de la Riche (nivelé à 48,14 m NGF IGN69) n'est pas pris en compte. En effet, son altitude est très différente des laisses à proximité et il apparaît que l'église a été construite en 1858, après la crue donc. Il ne peut s'agir que d'une marque a posteriori ou d'un réemploi d'une pierre prise ailleurs. L'hypothèse qu'il s'agisse d'une marque de la crue de 1866 est également improbable, car trop haute par rapport aux marques plus à l'aval.

5.2.5 Le val de Tours dans sa partie aval

On dispose sur ce secteur de repères de crue en nombre limité (six pour 1856, dix pour 1866), mais régulièrement localisés le long du val. Les phénomènes observés lors des inondations de 1856 et 1866 sont très différents :

- en 1856 : une inondation provenant de l'amont (brèches de Conneuil, du canal, de la levée du Cher), accompagnée d'une brèche sur la digue de Loire à Berthenay, ainsi que sur la digue du Cher, là encore à Berthenay. On observe donc des niveaux décroissants de l'amont vers l'aval, entre 46 et 48 m NGF IGN69 ;
- en 1866 : une inondation uniquement provoquée par une brèche dans la digue du Cher sur la commune de Berthenay, générant des niveaux légèrement plus hauts dans la partie centrale du secteur, qu'à l'aval (logiquement et malgré l'apparition d'une brèche plus à l'aval) mais aussi qu'à l'amont.

On rappelle qu'il est nécessaire de reconstituer les niveaux des inondations dans les deux cas (1856 et 1866) afin d'en tirer une information synthétique correspondant aux plus hautes eaux connues, qui peuvent correspondre aux deux épisodes potentiellement (et effectivement, en l'occurrence).

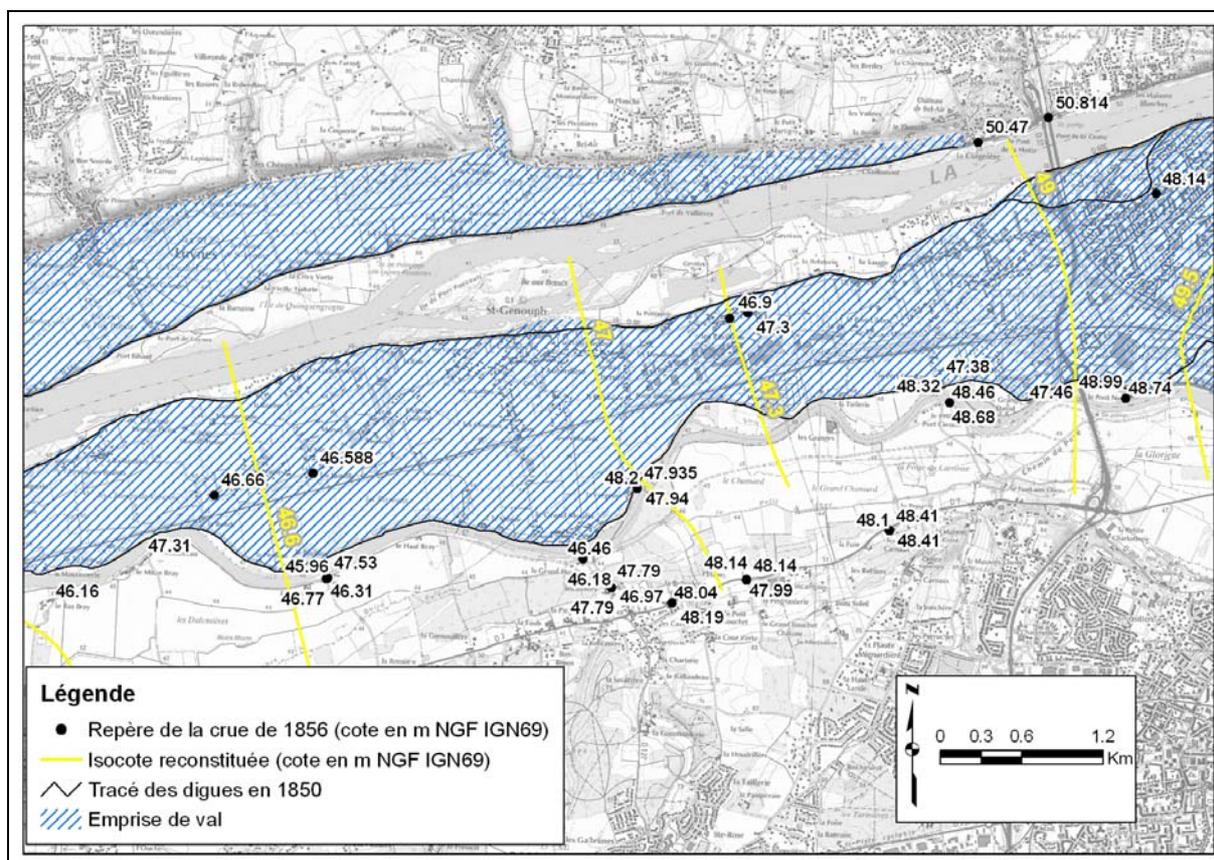


Figure 14 : laisses de la crue de 1856 et reconstitution des niveaux de l'inondation dans le secteur aval du val de Tours (La Riche, Saint-Genouph) (fond Scan25 IGN)

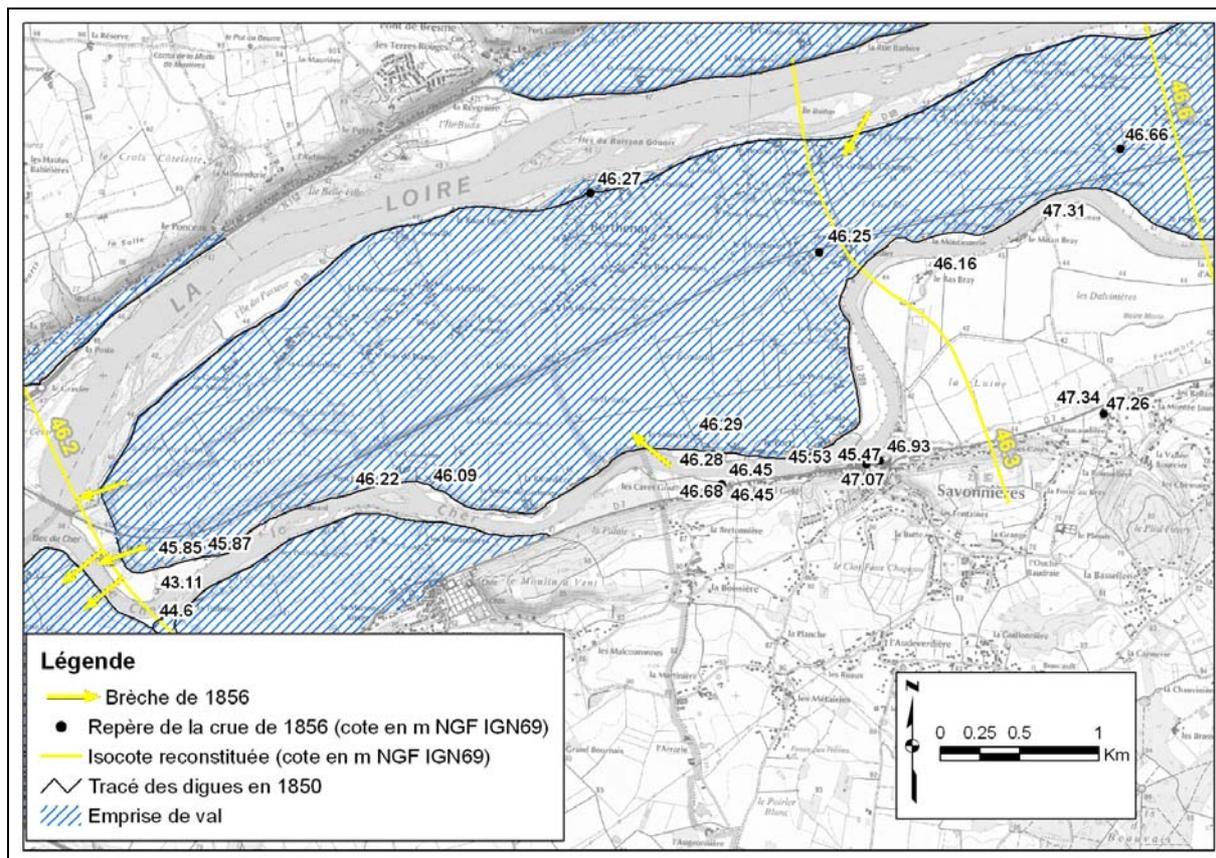
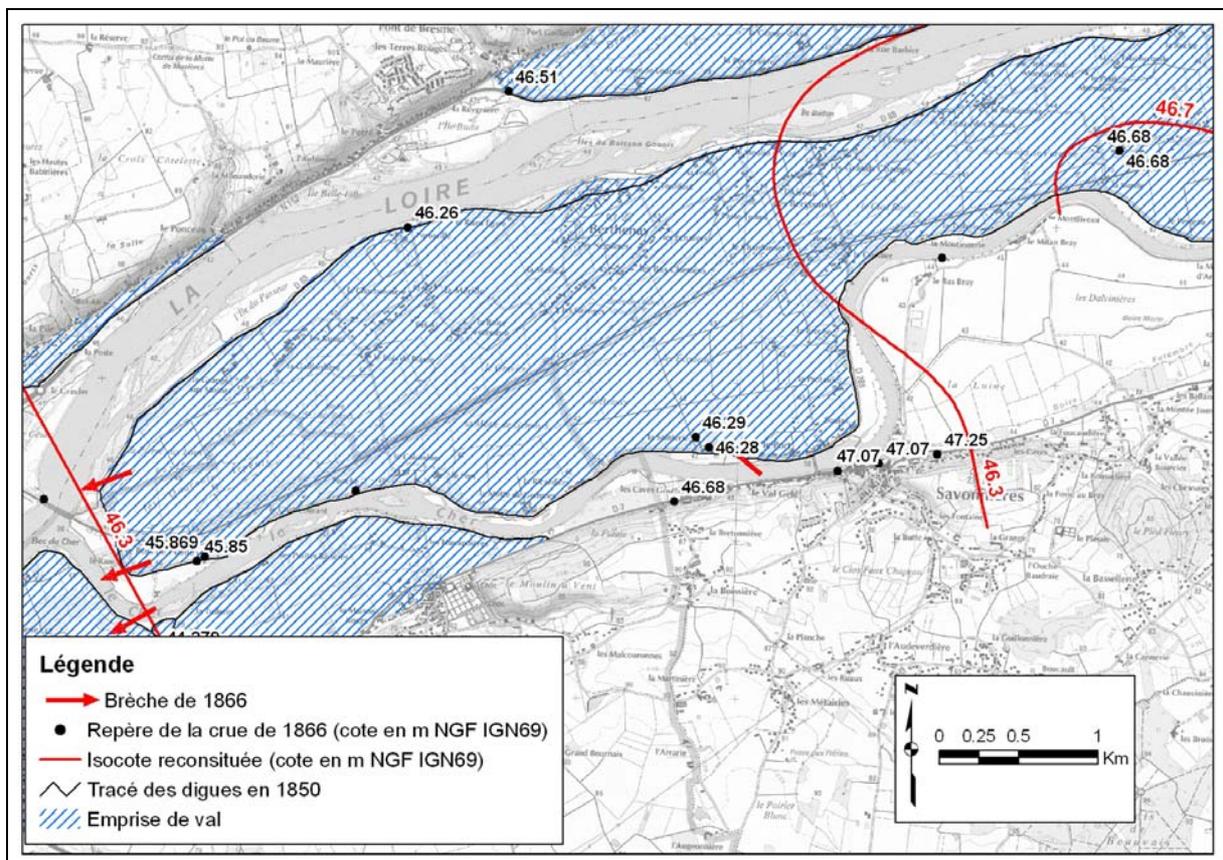
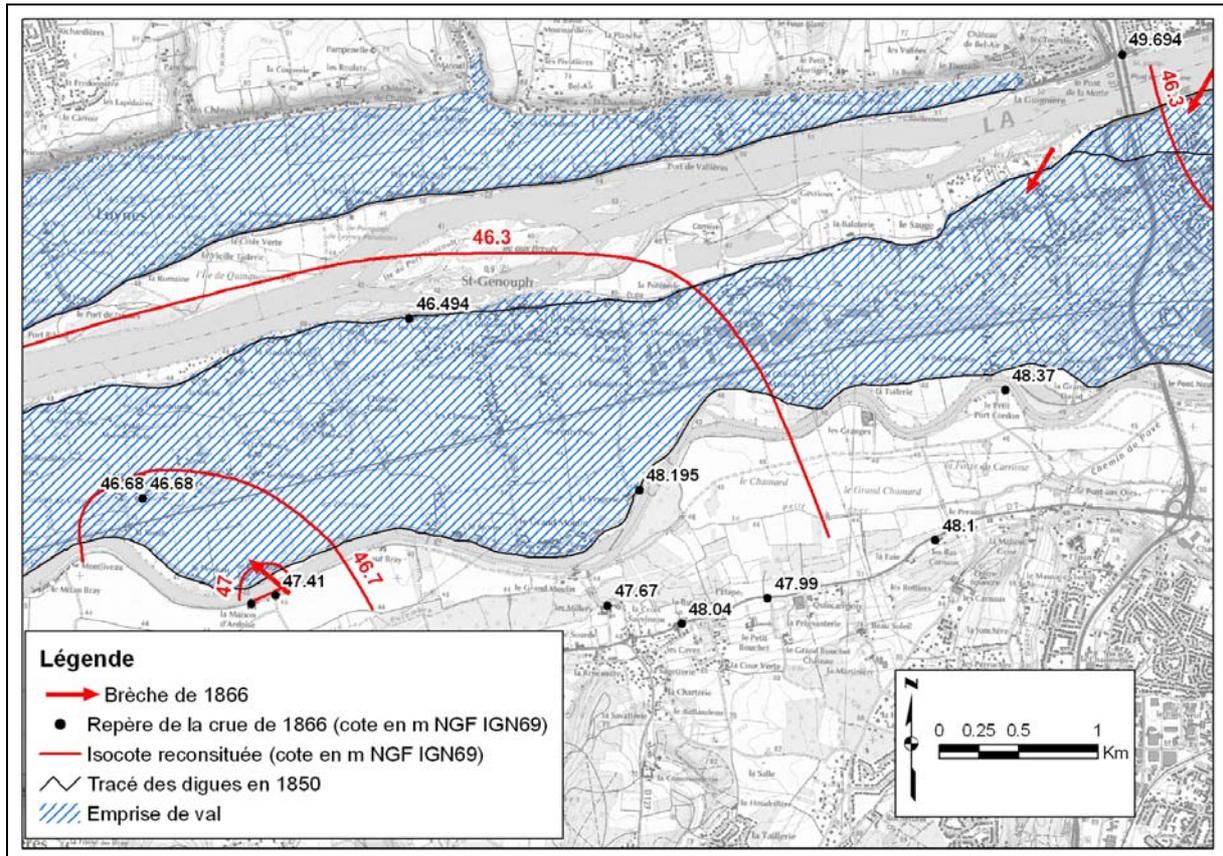


Figure 15 : laisses de la crue de 1856 et reconstitution des niveaux de l'inondation dans le secteur aval du val de Tours (Berthenay) (fond Scan25 IGN)

Il est délicat de représenter avec un minimum de certitude les écoulements sur la commune de la Riche à l'aval de la voie ferrée Tours – Le Mans (à l'amont du secteur). En effet, on ne dispose sur cette zone d'aucune laisse qui puisse nous orienter, et les laisses disponibles à l'amont (dans Tours, connues avec une bonne précision) et à l'aval (aux Pavillons, commune de la Riche, connue avec une précision acceptable également) montrent une perte de charge importante. La voie ferrée Tours – Le Mans (existante en 1856, puisque l'inauguration de la ligne date de 1858) a certainement joué un rôle mais difficilement quantifiable. Aussi, il a été choisi de représenter un écoulement parallèle à la pente du val, ce qui sous-entend une absence de perte de charge localisée au droit de la voie ferrée, mais reste physiquement cohérent. Cette hypothèse majore les niveaux entre la voie ferrée et les Pavillons (voir l'évaluation de l'incertitude, paragraphe 6.1).



Figures 16 et 17 : laisses de la crue de 1866 et reconstitution des niveaux de l'inondation dans le secteur aval du val de Tours (La Riche, Saint-Genouph, Berthenay) (fond Scan25 IGN)

Sur les cartes précédentes, on constate dans les deux cas un phénomène de stockage dans la partie aval (avec des niveaux quasi uniformes), jusqu'à la formation de brèche en retour au niveau du Bec de Cher. Ce phénomène masque l'effet des deux brèches de Berthenay sur la digue du Cher sur les niveaux d'eau dans le val. C'est pourquoi ces effets ne figurent pas sur les figures précédentes.

La représentation des niveaux à l'aval de la brèche du Pavillon sur le Cher en 1866 est soumise à une incertitude résultant de la difficulté de connaître correctement les écoulements dans ce cas. Toutefois, les niveaux maximaux dans le val et dans le Cher sont proches et encadrent étroitement le niveau à l'aval de la brèche. L'incertitude peut être estimée à +/- 50 cm, à peine plus grande que l'incertitude générale (+/- 30 cm, voir partie 6, plus loin), au contraire du cas de la brèche de Conneuil (voir paragraphe 5.2.3).

On notera que les isocotes reconstituées dépassent les limites du val (par exemple l'isocote 46,3 m NGF IGN69 de la figure 15) : il s'agit d'un artifice pour contraindre le calcul d'interpolation qui suit à couvrir l'intégralité de la zone inondable que l'on souhaite représenter, sans préjuger du caractère réellement inondé des terrains lors des crues historiques.

Après le travail de reconstitution des niveaux atteints par les inondations de 1856 (annexe 3) et 1866 (annexe 4), leur combinaison permet d'obtenir une représentation unique et synthétique des plus hautes eaux connues dans la partie aval du val de Tours. Sur cette synthèse, en chaque point, c'est bien l'inondation la plus haute qui est choisie. Ainsi les PHEC peuvent correspondre à l'inondation de 1856 ou à celle de 1866 suivant les points.

5.2.6 Le val de Husseau

On a établi plus haut que l'inondation la plus forte connue (et suffisamment renseignée) du val de Husseau est celle de 1856. Lors de cette crue, une rupture de la digue à Bondésir (commune de Montlouis) a provoqué une inondation par remous de l'ensemble du val. On dispose d'un repère de crue au lieu-dit les Fossés blancs, à l'aval du val, à 55,93 m NGF IGN69. Etant donnée que l'inondation s'est propagée par remous, on peut estimer ce repère comme représentatif de l'inondation dans la totalité du val. L'inondation est donc considérée comme ayant submergé l'ensemble du val, à la cote 56,0 m NGF IGN69.

5.2.7 Le val de Marmoutier

Comme on l'a vu plus haut, la crue de 1856 semble la plus impactante sur le val de Marmoutier, étant donnée sa faible taille. On utilise les niveaux en Loire pour représenter les niveaux atteints dans le val. L'altitude de l'inondation s'échelonne donc sur ce secteur entre 52,5 et 54 m NGF IGN69, environ.

Pour mémoire, les niveaux en Loire sont reconstitués à partir des éléments tirés du profil en long de la Loire de 1854-1862 et de ses surcharges.

5.2.8 Le val de Luynes

Comme on l'a annoncé plus haut, il n'est pas possible de reconstituer les plus hautes eaux connues sur ce val, faute de données. On utilise donc les niveaux atteints en Loire en 1856 pour délimiter la zone inondable théoriquement maximale. Les altitudes qui en découleraient sont comprises entre 47 et 50,5 m NGF IGN69 environ.

5.2.9 Le val de Villandry

Comme dans le cas du val de Luynes, on utilise les niveaux dans le Cher pour délimiter la zone inondable théoriquement maximale de ce petit val. Les altitudes qui en découleraient sont comprises entre 45,8 et 46,3 m NGF IGN69 environ.

5.2.10 Le val de Bréhémont

Comme dans les deux cas précédents, on utilise les niveaux en Loire pour délimiter la zone inondable théoriquement maximale dans la partie amont du val de Bréhémont. On se souviendra que le secteur concerné dans cette étude est celui de la commune de Villandry, immédiatement à l'aval des brèches de 1856 et 1866. Les altitudes utilisées pour délimiter cette zone maximale sont comprises entre 45 et 45,5 m NGF IGN69.

5.3 Détermination des hauteurs des submersions provoquées par ces plus hautes eaux connues et cartographie

5.3.1 Interpolation des cotes reconstituées

L'étape précédente a consisté à reproduire des lignes d'égale altitude de l'inondation (ou isocotes), sur lesquelles on s'appuie pour connaître l'altitude de l'inondation en tout point.

La manipulation suivante se fait par une interpolation linéaire entre les isocotes (avec éventuellement une étape préliminaire de discrétisation ou échantillonnage de ces isocotes), qui permet d'obtenir une représentation continue de l'altitude de l'eau (et non limitée aux seules isocotes).

L'interpolation purement géostatistique des isocotes ne reproduit pas exactement les processus hydrauliques (il ne s'agit pas d'une modélisation hydraulique, mais bien d'une synthèse de plusieurs crues), mais, si les isocotes de départ sont correctement placées pour représenter l'ensemble des processus, l'interpolation respectera ces éléments.

La résolution de la couche interpolée est choisie à 10 m. L'altitude de la nappe d'eau est donc définie pour chaque pixel de 10 m de côté sur la zone d'étude. Ce choix semble un bon compromis entre précision de la reconstitution (étant données les pentes d'écoulement de l'ordre de 30 à 40 cm/km, l'incertitude sur un pixel est de moins de 5 mm par rapport aux

données que l'on souhaite représenter) et rapidité de calcul (économie d'un facteur 100 par rapport à une image raster d'une résolution de 1 m).

Les interpolations sont réalisées par secteur et par crue, dans l'objectif de pouvoir représenter correctement les discontinuités, puis assemblées. Le résultat d'ensemble de cette reconstitution (sous forme d'isocotes) est présenté en annexe 5. Une vérification de la représentativité du résultat peut être réalisée en traçant un profil le long des différents écoulements reconstitués : dans la Loire (profil A – B), dans le Cher (profil C – D) et dans le val de Tours (profil E – F).

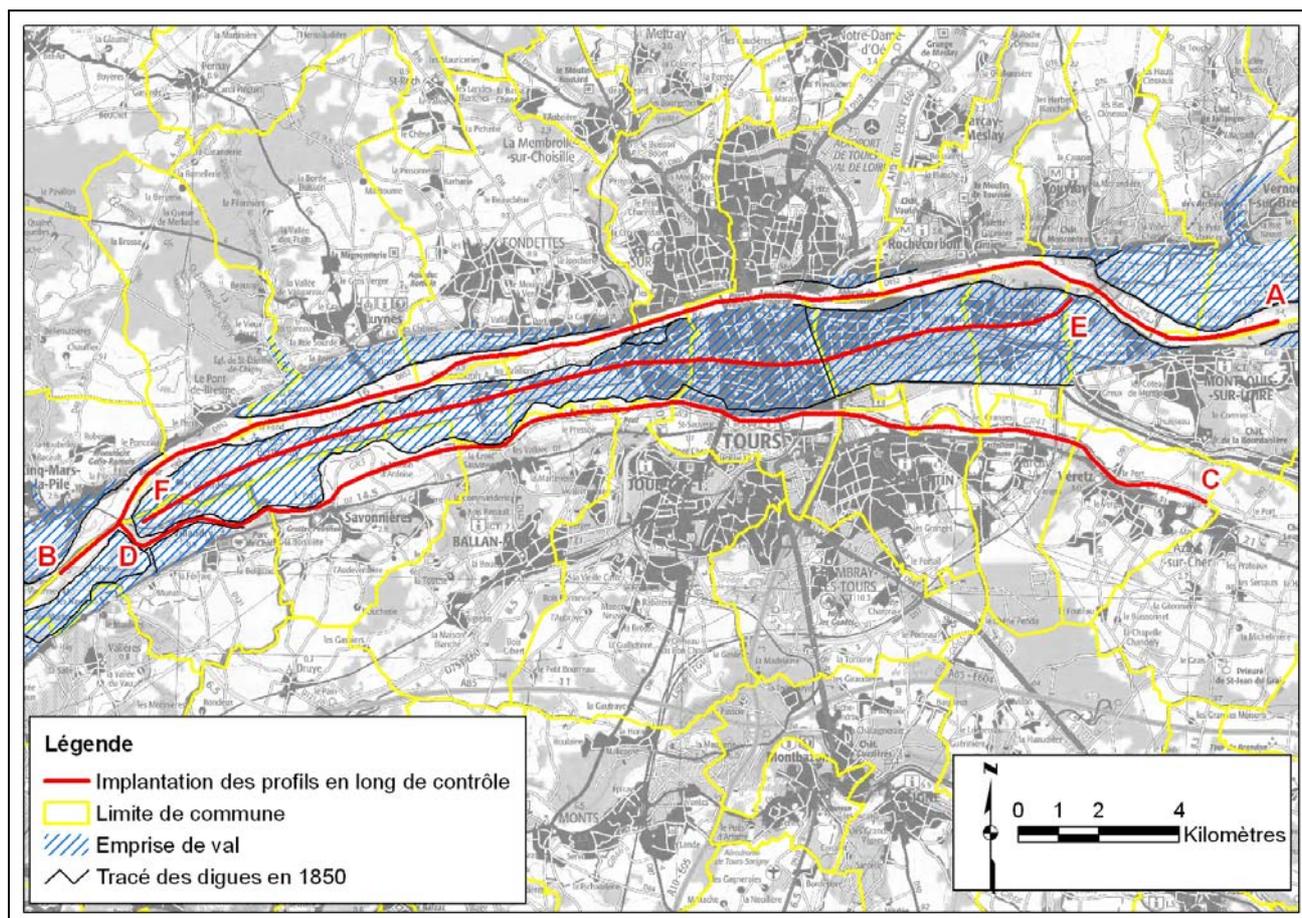


Figure 18 : implantation des profils en long de contrôle des plus hautes eaux reconstituées dans la Loire (tracé A-B), le Cher (tracé C-D) et le val de Tours (tracé E-F) (fond Scan100 IGN)

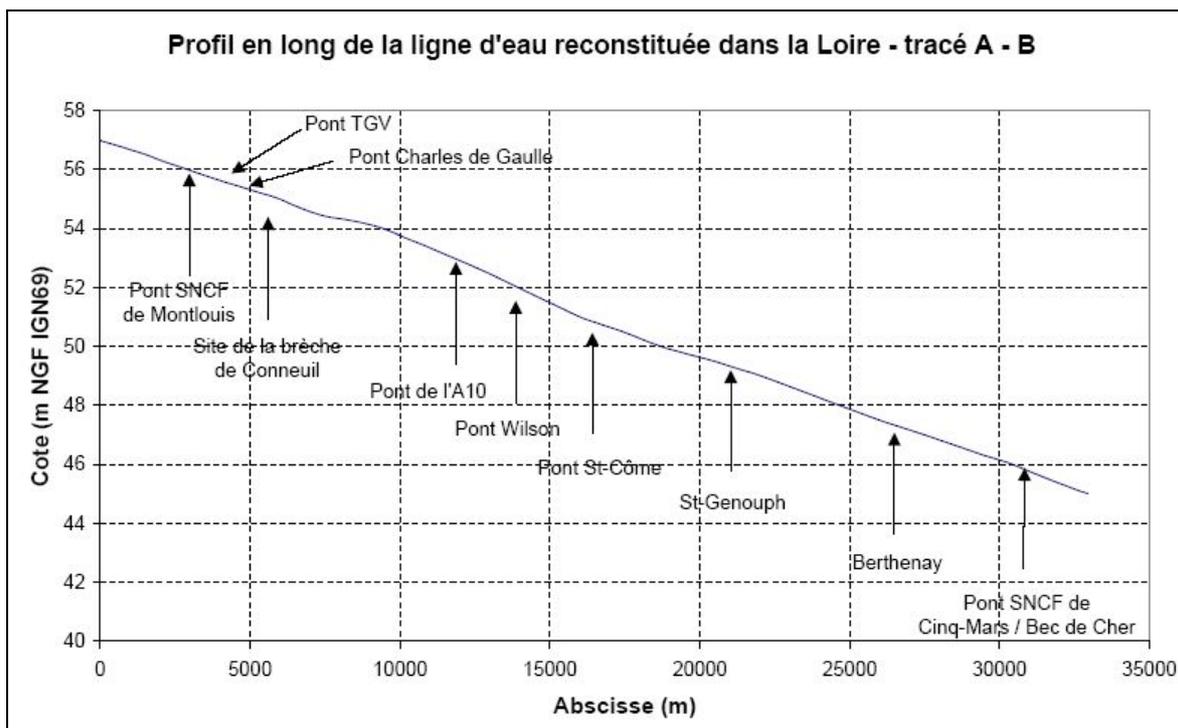


Figure 19 : profil en long de l'écoulement modélisé dans la Loire le long du val de Tours (profil A-B)

Sur le profil de Loire (profil A – B), on ne constate pas de discontinuité ni de rupture de pente inexplicable. On remarquera que les pertes de charges qui ont certainement eu lieu au droit de ponts (en particulier le pont Wilson à Tours) n'apparaissent pas, de même que l'effet de la brèche de Conneuil. En effet, les données disponibles, bien que détaillées, ne le sont pas suffisamment pour les représenter.

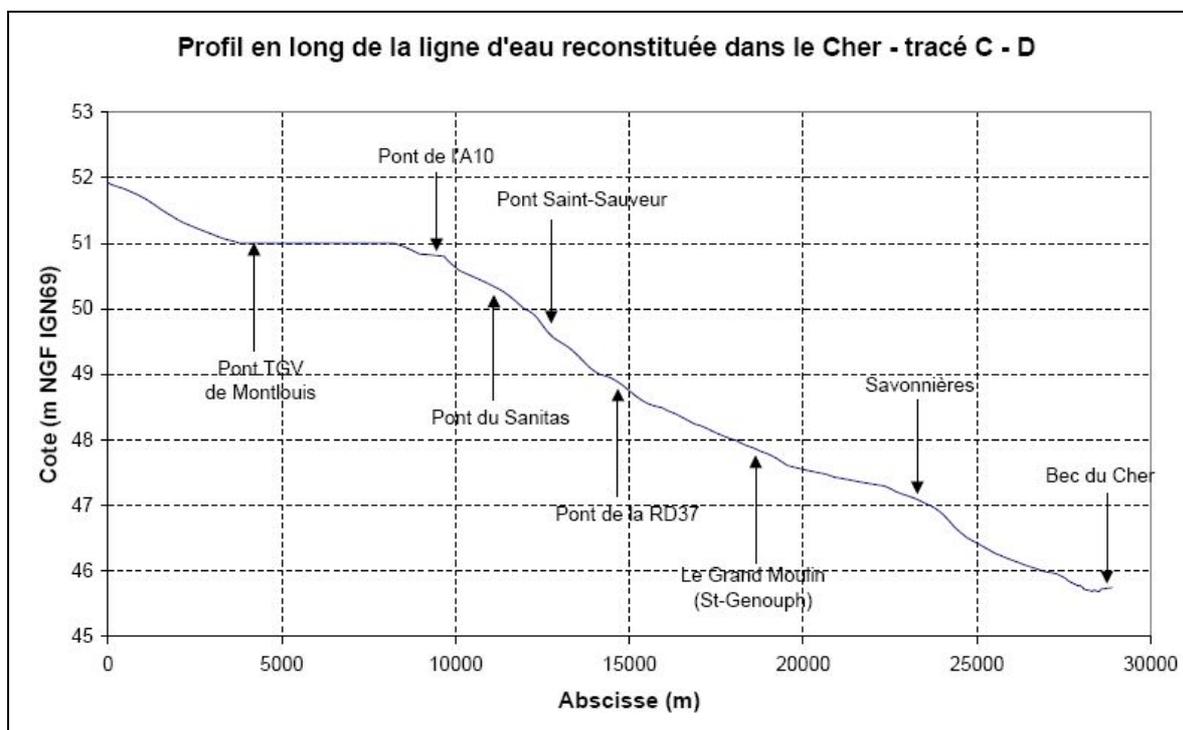


Figure 20 : profil en long de l'écoulement modélisé dans le Cher le long du val de Tours (profil C-D)

On constate sur le profil en long de l'écoulement dans le Cher une zone horizontale qui correspond au secteur du Cher le long de la digue de Rochepinard (la Ville-aux-Dames, Saint-Pierre-des-Corps) où les eaux du val, en provenance de la Loire suite à la brèche de Conneuil, se sont reversées dans le Cher. C'est également une zone où l'écoulement est fortement contraint par le resserrement du lit au passage des ponts de Bordeaux (voie ferrée Tours – Bordeaux), du Sanitas et Saint-Sauveur et de leurs remblais d'accès. Ces phénomènes ralentissent l'écoulement et forment un plan d'eau horizontal. On constate un phénomène similaire (bien que moins prononcé) en amont de Savonnières, où la digue rive droite du Cher se rapproche très fortement du coteau rive gauche, avec la présence d'un barrage de moulin. Le remous de la Loire est observable tout à fait à l'aval, à proximité de la confluence.

On utilise le même moyen pour apprécier la vraisemblance des niveaux reconstitués dans le val de Tours, depuis Conneuil jusqu'à Berthenay.

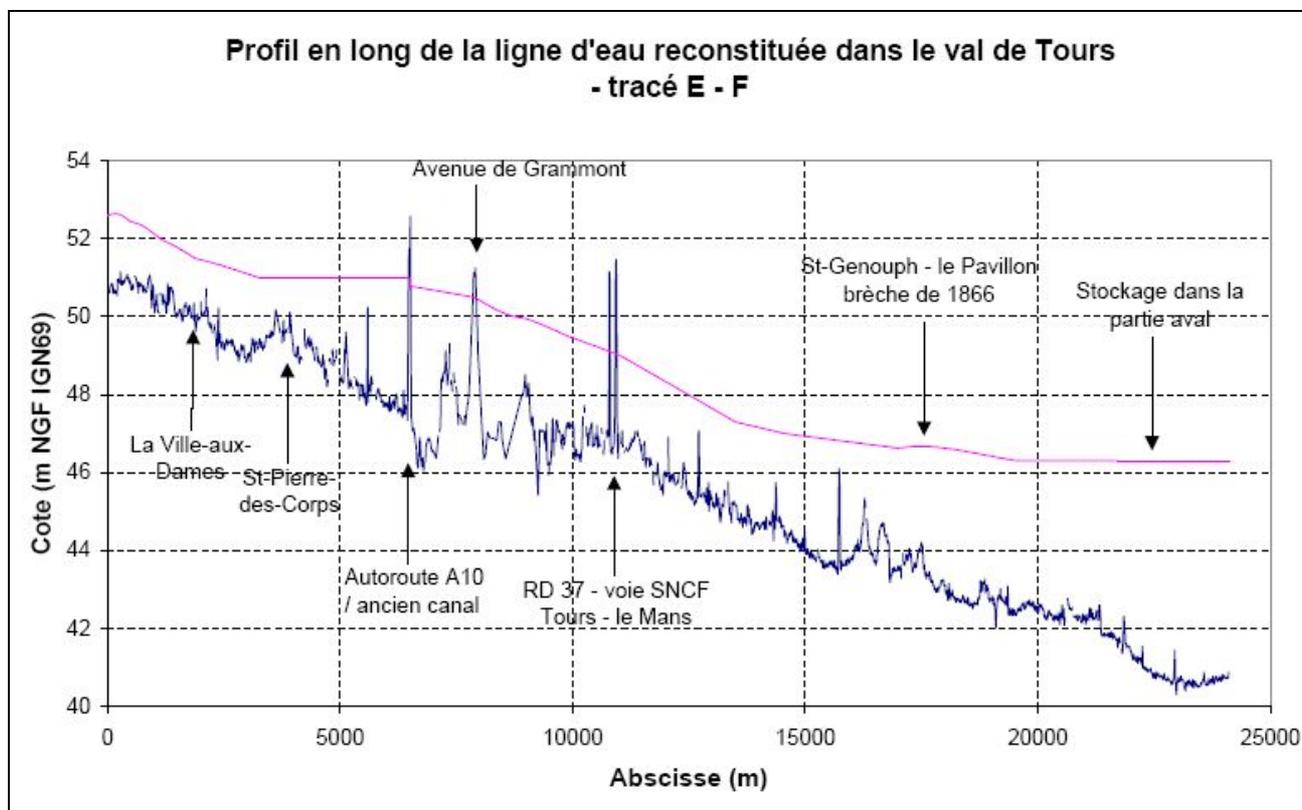


Figure 21 : profil en long de l'écoulement modélisé dans le val de Tours (profil E-F) (en rouge la ligne d'eau, en bleu le terrain naturel)

On observe une zone de stockage à l'amont du canal / autoroute A10 (ligne d'eau horizontale), qui a formé obstacle à l'écoulement. Le phénomène existe également, mais moins prononcé, à l'amont de l'avenue Grammont. Sur la partie aval est visible une légère remontée due à la représentation de la brèche du Pavillon à Saint-Genouph en 1866 (rappelons que la ligne d'eau représentée correspond à la synthèse des niveaux les plus hauts atteints en 1856 et 1866). Enfin, à l'extrémité aval, le stockage des eaux avant la formation de brèches en retour au Bec de Cher forme un plan d'eau horizontal. De manière générale, on constate que l'écoulement reconstitué suit globalement la pente du val.

5.3.2 Détermination des hauteurs de submersion

La dernière étape consiste en la détermination des hauteurs de submersion provoquées par les niveaux reconstitués. Il s'agit simplement de soustraire les couches « altitude de l'eau » (étape précédente) et « modèle numérique de terrain », ce qui, pour mémoire, se résume par :

$$H_{\text{eau}} = Z_{\text{eau}} - Z_{\text{terrain}}$$

La résolution la plus fine (1 m, celle du MNT) impose la résolution du raster résultant. On obtient donc une cartographie des hauteurs de submersion reconstituées dans le cas des plus hautes eaux connues sur le secteur du val de Tours, avec une résolution de 1 m. La représentation des classes de hauteurs de submersion proposée ici peut bien entendu être différente en fonction de l'objectif recherché.

Le résultat obtenu est présenté en annexe 6 (cartographie à petite échelle) et en annexe 7 (cartographie à grande échelle). Rappelons que sur ces cartes, les hauteurs de submersion sur les vals de Luynes, Bréhémont et Villandry ne sont pas représentées, faute d'éléments pour les déterminer. Seule l'extension maximale de l'inondation (pour des niveaux correspondant aux plus hautes eaux du lit majeur endigué) y est figurée.

De manière générale, on peut retenir les éléments suivants pour ce qui est des hauteurs de submersion atteintes sur le val de Tours :

- sur la Ville-aux-Dames : des hauteurs comprises entre un et deux mètres en général, sauf à proximité du site de la rupture de Conneuil ;
- sur Saint-Pierre-des-Corps : des hauteurs supérieures au mètre dans tous les cas, et supérieures à deux mètres sur une grande partie de la commune (voire supérieures à trois mètres près de l'autoroute A10 et du Technocentre de la SNCF) ;
- sur Tours centre : des hauteurs majoritairement supérieures à deux mètres, parfois supérieures à trois mètres (jardin des Prébendes, sud du quartier Velpeau). Le centre ancien de Tours reste quant à lui exondé dans le cas reconstitué ici, du fait de son altitude plus élevée que celle des alentours ;
- sur la Riche – Saint-Genouph : les hauteurs concernant les zones à enjeux sont supérieures à deux mètres. On observe parfois des hauteurs supérieures à trois mètres, mais dans des zones plus rurales ;
- sur Berthenay : des hauteurs quasi systématiquement supérieures à trois mètres, supérieures à quatre voire cinq mètres sur les parties les plus à l'aval.

6. Incertitude générale et incertitudes locales de la méthode

La méthode utilisée est entachée d'une incertitude globale inévitable, liée aux incertitudes suivantes :

- l'incertitude sur les niveaux atteints par l'eau ;
- l'incertitude sur la topographie.

Il est important de connaître ces incertitudes pour mesurer leur impact, les relativiser (en particulier dans le cas de l'application de cette cartographie à l'élaboration des PPRi), et chercher à améliorer les points qui sont les plus importants.

6.1 Incertitudes sur la reproduction des niveaux atteints par l'eau

On différencie ci-après les incertitudes générales (qui concernent toute l'aire d'étude) et locales qui résultent du travail précédent :

- Incertitude générale sur les cotes des repères et laisses de crue : si la précision des mesures d'altitude est centimétrique (y compris sur les données du XIX^{ème} siècle), il convient de rappeler que :
 - Les repères ou les laisses ont une incertitude décimétrique dans le meilleur des cas : batillage, remontée de l'humidité dans le support, imprécision de la limite atteinte dans le cas d'une laisse nivelée *a posteriori*... ;
 - Le changement de système altimétrique génère une incertitude de l'ordre de 5 cm dans le cas Bourdalouë → normal (seulement 1 cm dans le cas orthométrique → normal) ;
- Incertitude générale dans le positionnement et la forme géographiques des isocotes servant de base à l'interpolation : bien que s'appuyant au maximum sur les repères et laisses de crue connus, le tracé des isocotes est positionné avec une incertitude planimétrique estimée à une centaine de mètres. Etant données les pentes généralement observées dans les vals de Loire (0,3 à 0,5 m / km), l'incertitude qui en résulte sur les niveaux et hauteurs d'eau est de quelques centimètres ;
- Incertitude locale dans la reconstitution des niveaux atteints à l'aval des brèches historiques. Ces zones sont en général mal renseignées pour des raisons évidentes de destruction ou de fort endommagement des bâtiments qui s'y trouvaient (s'il y en avait). Il est probable que les niveaux reproduits soient sous-estimés. Bien que difficile à quantifier, on peut estimer l'incertitude sur ces zones de l'ordre de 0,5 m à 1 m. Des renseignements utiles sur les phénomènes à proximité des ruptures pourraient être apportés dans le cadre d'autres études, et en particulier les études de dangers des digues domaniales, mais ceci reste à confirmer). Les zones concernées sont à proximité de Conneuil (commune de la Ville-aux-Dames, brèche de 1856 et 1866), de la Fouquerie (commune de Berthenay, brèche de 1856), du Port de Savonnière (commune de Berthenay, brèches de 1856 et 1866) et du Pavillon (commune de Berthenay, brèche de 1866) ;
- Incertitude générale dans la reproduction du niveau des PHEC dans le val de Tours amont, du fait du faible nombre de repères de crue. Le comportement hydraulique du secteur (stockage avant déversement à travers les brèches du canal et de la digue du Cher) limite cependant l'incertitude à moins de 50 cm (au-delà des zones directement sous l'influence de la brèche), soit une incertitude du même ordre que l'incertitude générale ;
- Incertitude locale dans la modélisation de la ligne d'eau dans le secteur de la Riche, à l'aval de la voie ferrée, où l'on constate une augmentation brutale de la pente de

l'écoulement, entre deux secteurs où les altitudes atteintes par les PHEC sont bien connues (Tours centre d'une part avec des altitudes de l'ordre de 49 – 49,5 m NGF IGN69, et l'aval du val de Tours avec des altitudes de l'ordre de 47,5 m NGF IGN69 au maximum). On peut quantifier la sur-estimation maximale à 0,8 m (estimée par rapport à une ligne d'eau qui suivrait la pente que l'on a plus en aval, comme l'illustre la figure 22 suivante).

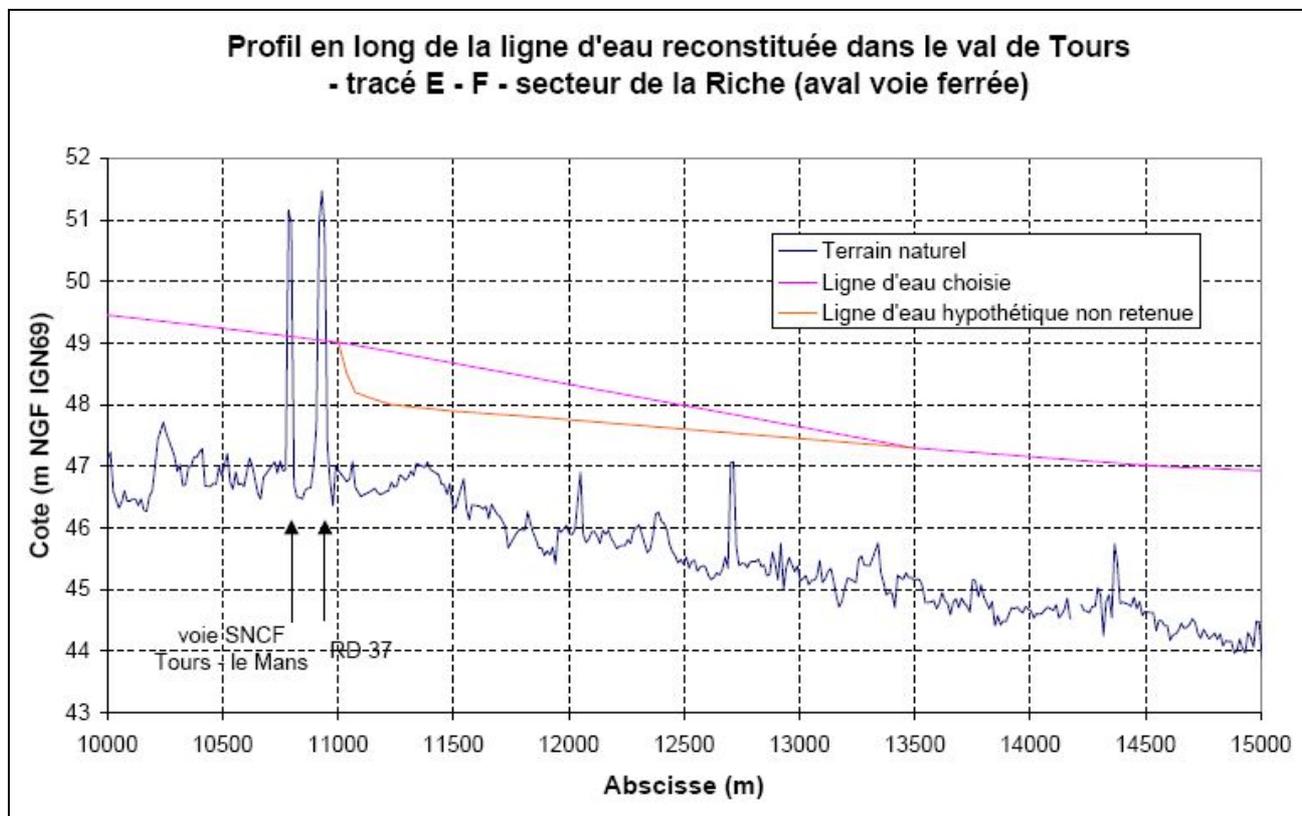


Figure 22 : évaluation de la sur-estimation possible des niveaux dans le secteur de la Riche, à l'aval de la voie ferrée Tours – le Mans. On constate le parallélisme la ligne d'eau retenue (en rose) avec la pente générale du val (en bleu). L'écart entre la ligne d'eau retenue et celle non retenue est au maximum de 0,8 m

Les incertitudes locales présentées ci-dessus sont représentées sur la cartographie d'ensemble des plus hautes eaux connues reconstituées, en annexe 5.

6.2 Incertitude sur la topographie

L'incertitude sur la topographie est celle du levé topographique utilisé. Il s'agit d'un levé haute densité (environ 1 point par 1 à 2 m) réalisé par laser aéroporté dont l'incertitude est estimé à 15 cm en altimétrie (et 30 cm en planimétrie). Cette incertitude de 15 cm représente le plus souvent une valeur haute. Par mesure de prudence, il convient donc de se contenter du décimètre dans l'appréciation des altitudes de terrain.

6.3 Incertitude résultante

Dans le cas général, hors les cas plus locaux présentés ci-dessus, les considérations précédentes nous permettent d'estimer **l'incertitude générale sur les hauteurs de submersion à 30 cm** (20 cm pour le niveau de l'eau, 10 cm pour l'altitude du terrain).

7. Conclusion

La nouvelle cartographie des plus hautes eaux connues, présentée en détail dans les annexes de ce rapport, apporte sur la zone d'étude :

- une mise à jour des plus hauts niveaux et hauteurs d'eau connus par rapport aux cartes produites en 2003, en se basant sur des données plus nombreuses ;
- des informations sur ces niveaux et hauteurs d'eau sur l'ensemble du val de Tours, le val de Husseau et les rives de la Loire et du Cher, avec une bonne résolution (moins de 10 m) et une incertitude générale maîtrisée (de l'ordre de 30 cm) ;
- des informations facilement réutilisables via un système d'information géographique.

On dispose ainsi d'une cartographie des plus hautes eaux connues, aux conditions de l'époque, sans tenir compte de l'évolution de l'occupation du sol ou du système d'endiguement (que la carte de 1850 permet d'appréhender), ou des aménagements du Cher et de l'enfoncement du lit de la Loire. Son niveau de précision conduit à recommander une utilisation des cartes produites à une échelle du 1 : 10 000. Dans ce cadre, elle peut alimenter des travaux de recherche, des études sur les risques d'inondation (études de vulnérabilité par exemple) et contribuera à la mise à jour de la carte d'aléa des Plans de Prévention du Risque d'Inondation du « Val de Tours – val de Luynes ».

Sur le secteur de Tours, les modifications sont les suivantes :

- une augmentation des niveaux de l'ordre 0,5 m sur la partie amont du val de Tours (Saint-Pierre-des-Corps, la Ville-aux-Dames), voire plus dans les zones à l'aval immédiat de la brèche de Conneuil, mais difficiles à quantifier dans ces secteurs ;
- une augmentation de 0,3 à 0,5 m dans la partie sud du centre de val de Tours (sud de la commune de Tours) ;
- une diminution de l'ordre de 0,2 à 0,4 m sur l'amont de la commune de la Riche ;
- une augmentation de l'ordre de 0,2 – 0,3 m à l'aval du val de Tours (aval de la commune de la Riche, communes de Saint-Genouph et Berthenay).

Ces écarts sont principalement dus à des précisions du tracé des isocotes des plus hautes eaux connues.

TABLE DES FIGURES

<i>Figure 1 : extrait du semis de points terrain mesurés</i> _____	4
<i>Figure 2 : extrait du modèle numérique de terrain de résolution 1 m²</i> _____	5
<i>Figure 3 : extrait de la carte de 1850 sur Tours</i> _____	6
<i>Figure 4 : extrait du nivellement de la Loire (1854 – 1862) sur le secteur de Tours</i> _____	7
<i>Figure 5 : situation de l'ensemble des repères de crue disponible sur le val de Tours et alentours (recensement DREAL Centre et LRPC)</i> _____	8
<i>Figure 6 : localisation des témoignages issus de l'ouvrage de M. Rouillé-Courbe, et qualité de la reconstitution de l'altitude qui en est tirée</i> _____	9
<i>Figure 7 : localisation des ruptures de digue dans la région de Tours</i> _____	13
<i>Figure 8 : illustration de la brèche du canal en 1856</i> _____	14
<i>Figure 9 : Photographie de l'inondation de 1866 dans la partie amont du val de Tours</i> _____	16
<i>Figure 10 : repères des crues du Cher à Savonnières</i> _____	17
<i>Figure 11 : laisses de la crue de 1856 et reconstitution des niveaux de l'inondation dans le secteur amont du val de Tours (la Ville-aux-Dames, Saint-Pierre-des-Corps)</i> _____	21
<i>Figure 12 : laisses de crue de 1856 et reconstitutions des niveaux de l'inondation dans la partie sud du secteur central du val de Tours</i> _____	22
<i>Figure 13 : laisses de crue de 1856 et reconstitutions des niveaux de l'inondation dans Tours « intramuros »</i> _____	23
<i>Figure 14 : laisses de la crue de 1856 et reconstitution des niveaux de l'inondation dans le secteur aval du val de Tours (La Riche, Saint-Genouph)</i> _____	24
<i>Figure 15 : laisses de la crue de 1856 et reconstitution des niveaux de l'inondation dans le secteur aval du val de Tours (Berthenay)</i> _____	25
<i>Figures 16 et 17 : laisses de la crue de 1866 et reconstitution des niveaux de l'inondation dans le secteur aval du val de Tours (La Riche, Saint-Genouph, Berthenay)</i> _____	26
<i>Figure 18 : implantation des profils en long de contrôle des plus hautes eaux reconstituées dans la Loire, le Cher et le val de Tours</i> _____	29
<i>Figure 19 : profil en long de l'écoulement modélisé dans la Loire le long du val de Tours</i> _____	30

Figure 20 : profil en long de l'écoulement modélisé dans le Cher le long du val de Tours 30

Figure 21 : profil en long de l'écoulement modélisé dans le val de Tours (profil E-F) ____ 31

Figure 22 : évaluation de la sur-estimation possible des niveaux dans le secteur de la Riche, à l'aval de la voie ferrée Tours – le Mans _____ 34



DREAL Centre
Service hydrométrie, prévision des étiages et des crues

5, avenue Buffon
BP 6407
45064 ORLEANS Cedex 2
Tél. : 02 36 17 41 41
Fax : 02 36 17 41 01