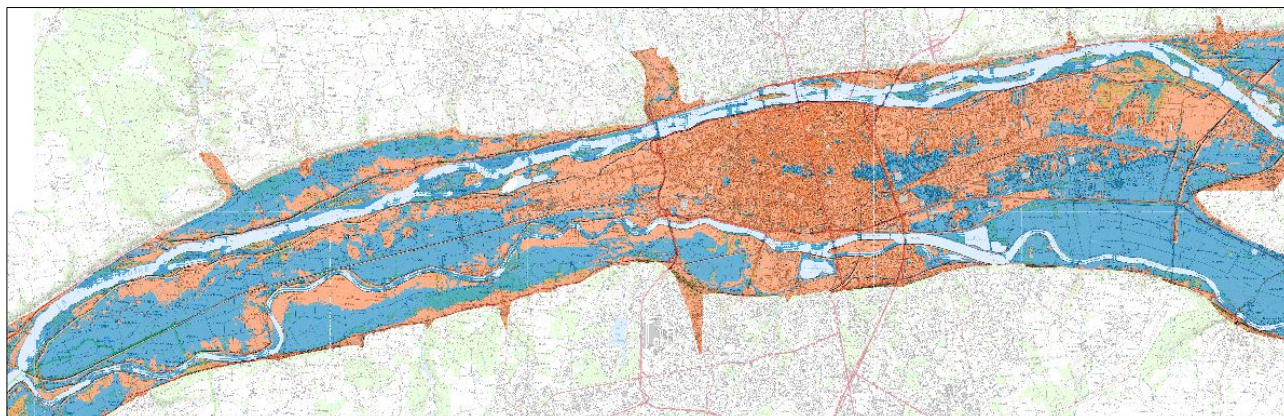


**Rapport de stage pour l'obtention
de la première année du Master**

***Cartographie des routes coupées
du val de Tours
en cas d'inondation par la Loire***



Olivann OMNES - Août 2009

Maîtres de stage :



**Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du
Développement Durable et de la Mer**

Remerciements

Merci aux **directions des services de l'État concernés** pour m'avoir permis de faire ce stage,

Je souhaite plus particulièrement remercier mes maîtres de stage, **David GOUTX** chef du service Hydrologie et Prévision des Crues à la DIREN Centre, et **Jean-Pierre VERRIERRE** chef de l'unité Défense-Crise-Transport du service STEF à la DDE 37. J'ai beaucoup appris auprès d'eux et ils m'ont fait confiance dans la réalisation de ces travaux.

Merci également aux **services géomatique et informatique de la DDE 37**. Leurs conseils m'ont été d'une grande aide. Désolé d'avoir saturé le serveur d'échange avec mes données.

Enfin merci à toute l'équipe de l'unité DECRIT, à **Daniel** qui m'a montré les réalités du terrain, à **Sylvie** et **Jacqueline** pour leur bons conseils aux moments des pauses café, et enfin à **Françoise**, **Consoelo** et **Nathalie** pour leur bonne humeur quotidienne.

Sommaire

page

Introduction

1

Partie 1 : Contexte de l'étude

2

I- Présentation des structures d'accueil

2

1) La DIREN Centre

2

2) La DDE 37

2

II- Organisation de mon travail

3

III- Environnement de l'étude

4

Partie 2 : Inondabilité du val de Tours

6

I- Inondations par remontées de nappe

6

1) Recherches d'informations sur la nappe du val de Tours

6

2) Cartographie du val inondé

8

II- Inondation par rupture de digue

13

1) Matériel

13

2) Méthode

13

Partie 3 : Interprétation des résultats

15

I- Cartes d'inondabilité par remontées de nappe

15

1) Potentialités du modèle

15

2) Les limites du modèle

18

3) La validité du modèle

19

II- Scénarios d'inondations par rupture de digue

20

1) Les limites de l'informatique

20

2) Exemple d'une simulation

20

Conclusion

22

Bibliographie

23

Annexes

24

Résumé / Summary

La DIREN Centre et la DDE 37 ont convenu d'établir un atlas cartographique des routes potentiellement coupées en cas d'inondation du val de Tours par la Loire. J'ai été recruté pour effectuer ce travail.

La première étape fut la recherche d'informations relatives aux crues majeures des siècles passés : en cas de trop forte montée des eaux, le val de Tours est sujet à l'infiltration des eaux à travers les levées, la saturation des réseaux d'assainissements, la surverse des eaux par dessus sur les digues et la rupture probable de ces digues en certains lieux.

J'ai ainsi établi une méthode pour créer des cartes d'inondabilité du val par remontée d'une nappe d'eau. L'échelle de référence utilisée est celle du pont Wilson à Tours. Cette étude permet de connaître dorénavant l'accessibilité du réseau routier en fonction de hauteurs d'eau connues.

En parallèle j'ai utilisé un logiciel de courantologie pour simuler des scénarios de brèches dans le val. Ce logiciel est appelé MIKE 21. Il définit le cheminement des eaux dans le val et leur temps de propagation.

L'ensemble de ces travaux est utile à la prévision du risque inondation. Les services de gestion de crise peuvent ainsi mieux se préparer dans l'organisation des secours en cas de catastrophe. La DIREN Centre souhaite maintenant étendre le projet à d'autres vals dans la région.

The DIREN Centre and the DDE 37 have agreed to establish maps of cut off roads if a flood in the valley of Tours occurs with the Loire river. I was recruited for this work.

The first step was finding information about former major floods : if the level of the water rises too much, the valley of Tours can be flooded because of seepage through the dikes, saturation of the sewerage network, overflows over the dikes and dikes break.

I developed a method to create flood maps of the valley. The reference scale used is the Wilson Bridge one, in Tours. This study gives informations about road accessibility if the water rises in the valley.

At the same time I simulated dikes holes consequences, with a software named MIKE 21. It defines the water path and its time of propagation.

All this work is useful to anticipate flood rescue, its organization and its priority. The DIREN Centre now wants to extend the project to other valleys in the region.

Introduction

Un exercice « crue majeure de la Loire » mené en 2007 par les services de l'Etat a mis en évidence certaines lacunes en terme de connaissances sur les axes disponibles pour évacuer la ville de Tours en cas d'inondation du val. Pourtant l'enjeu est de taille puisque près de 130 000 personnes devront fuir. Il est donc primordial d'étudier les phénomènes d'inondation possibles pour pouvoir anticiper la crise le cas échéant.

Partant de ce constat la Direction Régionale de l'Environnement de région Centre (DIREN Centre) et la Direction Départementale de l'Equipement d'Indre et Loire (DDE 37) ont convenu d'établir un **atlas cartographique des routes coupées** du val de Tours en fonction des niveaux d'eau prévus aux échelles de crue. J'ai été recruté comme stagiaire conjointement par ces deux structures pour effectuer ce travail.

La première partie de ce rapport est consacrée à la présentation des deux structures, de l'organisation de mon travail et de l'environnement de mon étude. La seconde partie aborde le matériel et la méthode employés pour répondre à la commande. La dernière partie concerne l'interprétation des résultats.

- Partie 1 : Contexte de l'étude -

I- Présentation des structures d'accueil :

1) La DIREN Centre :

La Direction Régionale de l'Environnement de région Centre est un service déconcentré du Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durables et de la Mer (MEEDDM). Son **action** est **régionale**. Elle assure la coordination des actions conduites au nom du MEEDDM par les services départementaux de l'État et ses établissements publics. Elle met en œuvre directement certaines politiques liées à la nature, aux paysages et aux risques naturels. Ses missions s'exercent sous l'autorité du préfet de région et des préfets de département. Elle se compose de 5 services :

- un secrétariat général
- un service de Bassin Loire-Bretagne
- un service Hydrologie et Prévision des Crues
- un service Nature, Paysages et Qualité de Vie
- un service de l'Eau et des Milieux Aquatiques

J'ai été recruté par le service Hydrologie et Prévision des Crues (SHPC), sous la direction de M. David GOUTX, chef de service. Le SHPC a la charge de prévoir les crues et d'en déterminer les débits, les niveaux, les moments d'apparition et la durée des phénomènes en différents endroits des régions traversées par la Loire et ses affluents depuis sa source jusqu'à Langeais. L'information est transmise aux services concernés selon une hauteur d'eau prévue sur des échelles de référence. **L'échelle de référence en crue du val de Tours pour la Loire est située en aval immédiat du pont Wilson, côté rive droite.**

2) La DDE 37 :

La Direction Départementale de l'Équipement d'Indre et Loire est aussi un service déconcentré dépendant du MEEDDM. Son **action** est **départementale**. Elle regroupe plusieurs domaines de compétences : urbanisme, aménagement du territoire, environnement, prévention des risques, politiques et financement de l'habitat, sécurité routière, transports, éducation routière, entretien du domaine fluviale, bâtiment, assistance auprès des collectivités. Six services la composent :

- le SG : Secrétariat Général
- le SPOTE : mission Stratégie Prospective Observation des Territoires et Evaluation
- le STEF : service Sécurité Transport Education routière et Fluvial
- le SUHE : Service Urbanisme Habitat et Environnement
- le SCIBA : Service Construction Ingénierie et Base Aérienne
- le DILO : Délégation Inter-Service du Logement

Quatre subdivisions territoriales basées à Neuillé-Pont-Pierre, Amboise, Chinon et Loches viennent conforter le travail sur le terrain.

J'ai réalisé mon étude pour le service STEF, au sein duquel j'ai travaillé dans l'unité Défense-Crise-Transport (DECRIT), sous la direction de M. Jean-Pierre VERRIERE, chef de l'unité. Les actions prioritaires du DECRIT sont :

- d'assurer et de maintenir le caractère opérationnel des missions de la DDE 37 dans le cadre des plans de gestion de crise.
- de développer la complémentarité avec les collectivités territoriales par un apport d'expertise sur la

préparation des crises et leur gestion en liaison avec les autres services de la DDE.

- d'améliorer la connaissance du réseau routier et des problèmes actuels ou à venir qui peuvent se poser sur ce réseau en situation de crise.
- d'intervenir dans des missions de contrôle des transports guidés et routiers de voyageurs.
- d'organiser les itinéraires et de maintenir les réseaux permettant la circulation des transports exceptionnels sur le réseau routier du département.
- de réaliser l'étude d'adaptation des itinéraires de transports de matières dangereuses dans l'agglomération tourangelle.

II- Organisation de mon travail :

J'ai travaillé pour l'essentiel de mon stage au sein des bureaux administratifs de la DDE 37, dans le bâtiment du Cluzel au 61 de l'avenue de Grammont à TOURS (37000). J'ai pu bénéficier d'un bureau personnel et des outils informatiques utiles à mon travail.



Photo 1 : mon bureau à la DDE

David GOUTX, chef du service SHPC de la DIREN Centre, a supervisé l'ensemble de mon étude. Tous les 15 jours, nous nous réunissions David GOUTX, Jean-Pierre VERRIERE ainsi que moi-même pour discuter de l'avancée des travaux et pour convenir ensemble des orientations de travail. En outre, d'autres employés de la DDE m'ont apporté leur aide, leur connaissance, leur savoir-faire et leur expérience, tant sur le thème des inondations que d'un point de vue informatique.

L'idée commune DIREN Centre / DDE 37 est de disposer de cartes figées basées sur des scénarios pré-établis suivant les axes qui suivent :

- un pas de montée des eaux dans le val de 20 cm
- une inondation par remontées de nappes et de réseaux
- une inondation par rupture de digue au niveau des brèches historiques,
- une inondation par surverse des digues,
- l'influence d'une crue de Loire sur ses affluents et réciproquement.

Dans un premier temps j'ai dû me familiariser avec le thème des inondations. Plusieurs documents anciens ou récents m'ont été transmis afin que je puisse cerner la problématique des crues et comprendre le risque naturel auquel est confronté le val de Tours. La synthèse de ces travaux vous est présentée dans le chapitre suivant.

Dans un second temps, j'ai travaillé à la conception de cartes d'inondations par remontée de nappe alluviale et de réseaux d'assainissement (eaux usées / eaux pluviales). Cette tâche a abouti sur la rédaction d'un guide méthodologique pour la « modélisation de crue par remontée de nappe d'eau ». En outre des recherches d'informations sur les niveaux de la nappe du val de Tours m'ont mené au sein des Archives Départementales de la ville de Tours ainsi qu'en Mairie.

En parallèle, David GOUTX m'a formé à l'utilisation du logiciel de courantologie MIKE 21. Ce logiciel permet de simuler des brèches sur les levées de la Loire et de voir la propagation des eaux dans le val. Il offre un bon aperçu du risque inondation par rupture de digue et permet d'estimer le temps de propagation des eaux pour mieux s'organiser ensuite dans la gestion de la crise.

J'ai enfin renseigné les résultats obtenus dans la banque de données du logiciel OSIRIS-Inondation. Ce logiciel est un outil informatique de planification et de gestion de crise inondation destiné à aider les communes et les gestionnaires d'enjeux à élaborer leur plan de sauvegarde inondation (PSI).

III- Environnement de l'étude :

Situé entre la Loire et le Cher, le val de Tours s'étend sur une longueur de 26 km depuis le coteau de Montlouis-sur-Loire jusqu'au confluent de la Loire et du Cher à Villandry. Sa superficie est d'environ 4600 hectares.

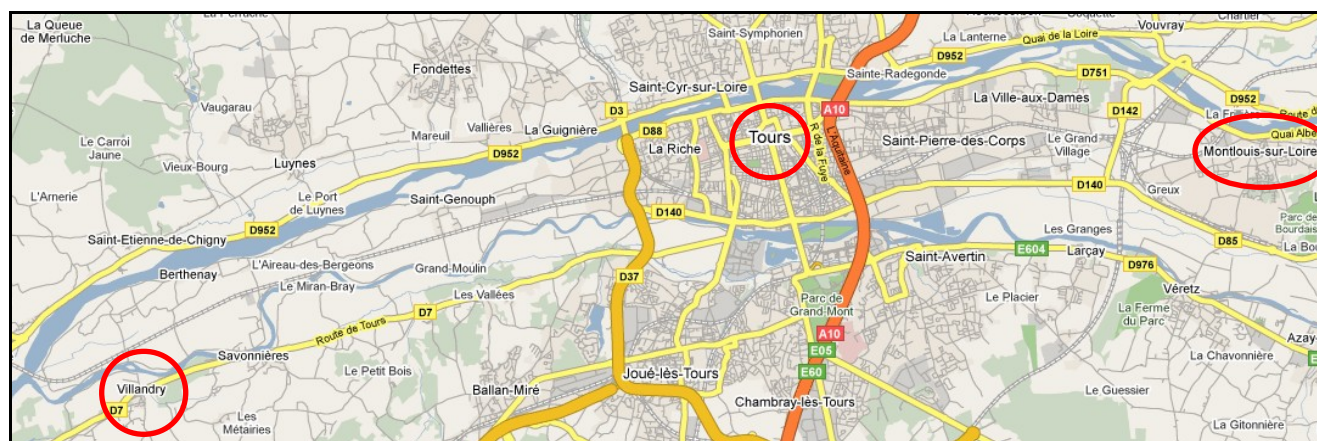


Figure 1 : Val de Tours

Bien qu'il soit entièrement endigué, le val de Tours a été inondé à plusieurs reprises par la Loire lors de fortes crues au siècle dernier (précisément en 1846, 1856 et 1866). Seuls des quartiers hauts de la ville de Tours ont pu être épargnés des eaux et les pertes furent considérables, tant d'un point de vue humain que matériel. Les phénomènes d'inondation constatés furent diverses : infiltrations à travers les levées, saturation des réseaux d'assainissement, ruptures de digues, surverses des eaux.

Depuis 1866, le val de Tours n'a plus connu de crue catastrophique et son urbanisation s'est accentuée, imperméabilisant d'autant plus la superficie du val : la ville de Tours occupe aujourd'hui toute la zone centrale comprise entre la Loire et le Cher. Les communes à la périphérie (Saint Pierre des Corps, la Ville-aux-Dames, la Riche) ont suivi cette croissance. Les communes plus éloignées telles que Saint Genouph ou Berthenay, restées longtemps rurales, suivent dorénavant la même tendance.

Pourtant le risque inondation au sein du val de Tours reste entier. Nous ne sommes en aucun cas à l'abri de phénomènes météorologiques semblables à ceux du siècle précédent, et même voir pire. Renards hydrauliques*, fondations inconnues et animaux fouisseurs sont autant de points faibles sur les digues que l'on ne peut pas maîtriser. Enfin un abaissement du lit de la Loire suite à des extractions massives de granulats au cours du siècle passé fragilise d'autant plus les levées en leur pieds et laisse planer le doute quand au bon fonctionnement des systèmes de protection existants (déversoirs).

Les crues catastrophiques de ces récentes années, à l'image de celle de Vaison-la-Romaine en septembre 1992, ont ravivé les craintes et une nouvelle attention est portée sur le risque inondation. Le val de Tours est d'autant plus concerné qu'il est sujet au risque industriel, avec en outre la présence de trois sites SEVESO de seuil haut sur sa partie amont (commune de St Pierre des Corps).

En janvier 1994, le ministère de l'environnement lance un plan global d'aménagement de la Loire appelé « Plan Loire Grandeur Nature ». Celui-ci vise à concilier la sécurité des personnes, la protection de l'environnement et le développement économique. Une équipe pluridisciplinaire est formée pour mener des études et améliorer les connaissances sur la Loire. Des travaux d'entretien et de renforcement des levées sont réalisés, ainsi que des travaux d'entretien et de restauration du lit de la Loire.

La même année, la DIREN Centre édite un atlas cartographique des zones inondables et des vitesses marquées de la vallée de la Loire sur la base de données historiques et de modèles hydrauliques. Des zones d'aléas sont définies et permettent d'établir un cadre juridique pour limiter l'urbanisation des vals, dont celui de Tours. La législation vient s'appliquer au travers des Plans de Prévention des Risques Inondation (PPRI) qui sont des documents cadre mettant en œuvre les principes de gestion des zones inondables fixés par circulaire le 24 janvier 1994 :

- préservation des champs d'expansion des crues (parties non urbanisées).
- inconstructibilité des zones d'aléas les plus forts et réduction de la vulnérabilité des constructions admises dans les zones d'aléas les moins forts.
- interdiction des remblais et endiguements nouveaux non justifiés pour la protection des lieux fortement urbanisés.

Enfin des arrêtés préfectoraux obligent dorénavant à informer les acquéreurs et les locataires de biens immobiliers sur les risques naturels et technologiques majeurs. Ceux de St Pierre des Corps et de Tours ci-joint en annexe 1 définissent quatre types d'inondations possibles :

- des inondations de plaine par débordement de la Loire et du Cher.
- des inondations du val par surélévation de la nappe phréatique.
- des inondations par défaut d'écoulement des eaux pluviales en cas d'insuffisance ou de panne des systèmes de pompes destinés à envoyer les eaux de pluie vers la Loire ou le Cher.
- des inondations du val par rupture des digues.

Le risque inondation est un risque naturel avéré sur la val de Tours. Or aujourd'hui une crue semblable à celles du XIX^{ème} siècle aurait des conséquences encore plus dommageables qu'à l'époque. Ainsi le phénomène mérite-t-il d'être étudié dans le détail. Mieux le connaître permettra de faire les bons choix le cas échéant, que ce soit pour évacuer ou pour intervenir. Des vies humaines peuvent en dépendre...

* Renard hydraulique : circulation d'eau dans le corps ou les fondations de la levée, avant même que l'eau ne passe par dessus.

- Partie 2 : Inondabilité du val de Tours -

I- Inondations par remontées de nappe :

1) Recherches d'informations sur la nappe du val de Tours :

L'inondation du val de Tours par surélévation de la nappe phréatique est un risque considéré comme plausible. Cependant ni la DIREN Centre ni la DDE 37 ne disposent d'informations concrètes à ce sujet. Mission m'a donc été confiée d'en trouver, plus particulièrement sur la ville de Tours et la commune de St Pierre des Corps qui présentent le maximum d'enjeux. Mon enquête m'a mené tout d'abord à la recherche de traces anciennes faisant référence à des inondations par remontée de nappe. Dans un second temps, j'ai tâché d'en savoir un peu plus sur les niveaux de la nappe sous la ville de Tours. L'objectif final de ces recherches était de définir un lien potentiel entre le niveau de la Loire en crue et celui de la nappe alluviale.

A/ Enquête auprès des archives départementales :

L'idée de cette enquête était de retrouver des traces historiques relatives à une inondation par remontée de la nappe alluviale, afin que cette hypothèse puisse être confirmée.

Mes recherches se sont orientées vers la crue d'octobre 1907. La nuit du 22 au 23 octobre 1907, la Loire est montée jusqu'à 5,60 mètres à l'échelle du pont Wilson. C'est le plus gros événement hydrologique de la Loire pour lequel aucune digue n'a cédé dans le val de Tours. Aussi toute information relative à une inondation au sein du val et plus particulièrement dans la ville de Tours aurait pu être attribuée à une remontée de la nappe alluviale de la Loire.

J'ai donc consulté nombre de quotidiens de l'époque en quête du moindre indice sur la crue de 1907. Le journal d'Indre et Loire du mercredi 23 octobre 1907 m'a permis d'apprendre l'inondation de caves pour les habitations situées sur les quais de la Loire. Il y a donc eu **infiltration de l'eau à travers les digues**. Sur St Symphorien en rive droite de la Loire, les caniveaux ont dû être bouchés derrière les digues pour éviter que l'eau ne se répande : **l'inondation par remontée de réseaux est donc probable**. L'Union Libérale d'Indre et Loire fait la chronique des événements dans son quotidien du 23 octobre 1907 mais ne nous apprend rien de plus pertinent.

Ainsi donc aucune information du passé n'a laissé transparaître le cas d'une éventuelle inondation par remontée de nappe alluviale au sein de la ville de Tours et de la partie aval du val. Seuls les secteurs proches des digues semblent influencés par l'infiltration des eaux dans les levées.

B/ Recherche de données sur les niveaux de la nappe alluviale :

Un des premiers réflexes lorsque l'on recherche des données sur les nappes est de se renseigner auprès du Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM). Malheureusement sur le val de Tours le BRGM n'exploite qu'un seul piézomètre* et les informations relatives concernent une nappe d'eau profonde, sans aucune relation avec la nappe alluviale de la Loire. J'ai donc dû m'orienter vers d'autres pistes.

Sous les conseils de David GOUTX, j'ai interrogé l'usine du service des eaux potables de la ville de Tours sur la possibilité d'obtenir des renseignements relatifs aux niveaux de la nappe. J'ai alors été orienté vers le service des Eaux Pluviales et des Travaux d'Urbanisation de la mairie de Tours qui

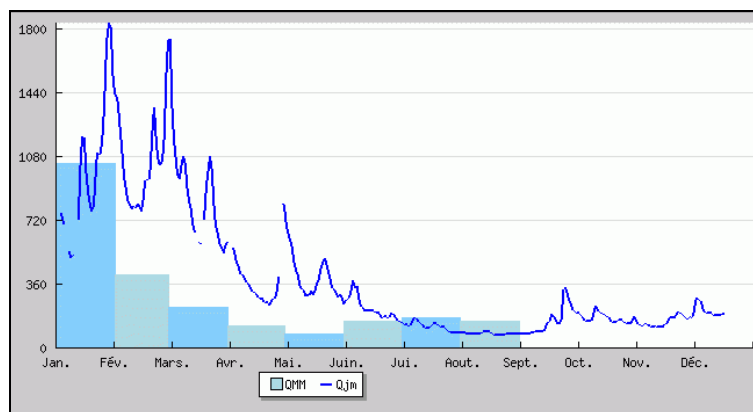
* *Piezomètre : appareil servant à mesure la hauteur piézométrique d'un aquifère en un point donné*

dispose d'études à ce sujet.

La ville de Tours détient plusieurs piézomètres (59 exactement) répartis dans toute la ville et à partir desquels les niveaux de la nappe sont mesurés tous les mois depuis 1991. L'exploitation des données est confiée à un bureau d'étude, en l'occurrence « Sogreah Consultant » pour le plus récent. Ma demande en mairie pour avoir copie des études n'a pas aboutie. J'ai cependant pu réaliser quelques photocopies riches d'enseignements lors d'une visite en Mairie auprès du service pré-cité.

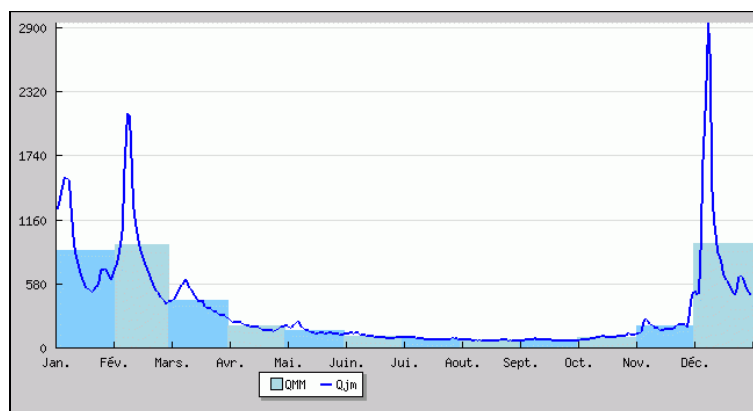
J'ai récupéré entre autres les données relatives aux niveaux annuels maximums relevés sur une période d'observation de 16 ans (1991–2005). Ces informations sont consultables en annexe 3 du rapport. Leur analyse montre que **la nappe atteint son niveau maximum en 1995**. Le niveau le plus haut de la Loire sur la même période d'étude est atteint en 2003 (données sources : DIREN Centre).

En 1995 la Loire ne connaît pas de crue remarquable. En revanche l'hydrogramme de crue ci-dessous montre que **les débits de la Loire sont restés relativement hauts** tout le premier tiers de l'année (supérieurs à 700 m³/s sur les mois de janvier, février et mars inclus), ce qui pourrait expliquer les niveaux hauts de la nappe.



*Figure 7 : Hydrogramme de crue de la Loire - année 1995
(données sources : DIREN Centre, banque de données hydro)*

C'est le cas aussi en 2001 où nombre de piézomètres ont atteint des valeurs hautes. **En revanche en 2003 les débits de la Loire sont restés très faibles** toute l'année et la crue de décembre fut un phénomène relativement rapide.



*Figure 8 : Hydrogramme de crue de la Loire - année 2003
(données sources : DIREN Centre, banque de données hydro)*

Les travaux de Sogreah mettent aussi en évidence les battements annuels de la nappe alluviale sur la même période d'observation ainsi que les battements maximums pour les années extrêmes. La photocopie de ces données est en annexe 3. L'analyse de ces informations montre que la battance est faible au centre du val (seulement 31 cm de battance maximum au droit du jardin des Prébendes au centre de la ville de Tours). Elle s'amplifie quand on se rapproche de la Loire et du Cher (plus de 2 mètres de battance extrême au droit des quais de la **Loire**). **Cette information confirme les données historiques et le risque d'inondation derrière les digues par infiltration de l'eau dans les levées.**

L'observation des iso-courbes du toit de la nappe (annexe 4) relatives à une étude en 1982 du bureau d'études géologiques G. PIERSON-Consultant montre que la surface de la nappe n'est pas plane. De plus, des drains et de forages peuvent l'influencer. **Il est donc difficile d'imaginer les fluctuations possibles de la nappe et sa modélisation est un exercice complexe.**

Pour finir j'ai comparé les hauteurs annuelles maximums de la nappe alluviale avec les données topographiques de la ville de Tours. J'ai pu constater un espace minimum de 2 mètres entre le toit de la nappe à son niveau le plus haut et la surface du sol. Autrement dit il faudrait que la nappe s'élève de deux mètres par rapport à son niveau maximum atteint sur la période d'observation comprise entre 1991 et 2005 pour commencer à apparaître dans la ville de Tours.

L'ensemble de ces informations montre qu'il n'est pas simple d'évaluer l'influence d'une crue de la Loire sur l'élévation de la nappe alluviale. Des travaux plus poussés devront être menés si l'on souhaite obtenir des résultats plus concrets. Il apparaît cependant qu'un risque inondation par remontée de nappe alluviale est peu probable sur la ville de Tours. L'influence de la Loire sur la nappe semble liée à la durée des hautes eaux. Les précipitations directes sur le val doivent aussi avoir leur influence.

L'infiltration des eaux dans les levées et la saturation des réseaux d'assainissement sont eux des faits avérés. Le val est aussi sujet au risque de débords sur les levées et au risque de rupture de digue. Il peut être pertinent d'observer dans un premier temps les simples conséquences d'une montée des eaux au sein du val. Au regard des données exploitables et de leur précision, la DIREN Centre et la DDE 37 ont choisi de définir l'inondabilité du val selon un pas de montée des eaux de 20 cm. C'est l'objet du travail qui suit.

2) Cartographie du val inondé :

Ce travail se base sur l'hypothèse que les digues sont transparentes. Il offre un premier aperçu des perturbations à craindre sur le réseau routier en cas de montée des eaux dans le val.

A/ Matériel :

La DIREN Centre dispose depuis 2003 d'un **levé topographique haute résolution** de la Loire moyenne (zone comprise entre Nevers et Nantes). L'acquisition des données a été réalisée par l'IGN* selon un système de scannage par laser aéroporté. La restitution des informations est faite sous forme de semis de points de coordonnées au sol et d'altitude donnés (coordonnées XYZ). La densité des points est supérieure à 1 point pour 4 m², y compris sous couvert végétal. La précision est de l'ordre de 30 cm en X,Y et 15 cm en Z.

Intégrer ces données dans un logiciel de cartographie permet d'obtenir un modèle altimétrique de la zone inondable de la Loire. On crée un Modèle Numérique de Terrain (MNT) à partir duquel on

* IGN : Institut Géographique National

modélise le relief. Le MNT comprend uniquement les éléments modelant le terrain naturel : terrain naturel « nu », terrain naturel sous végétation, ouvrages modelant le terrain naturel (digues, quais, remblais). Les artefacts liés à la végétation (arbres isolés,...), les zones bâties et les surfaces en eau sont exclus.

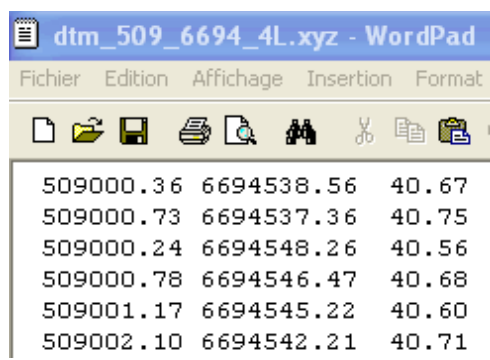
Il existe plusieurs logiciels qui permettent d'organiser et de présenter sous forme de cartes des informations géographiquement référencées. Ce sont les outils informatique SIG*. L'outil réglementaire utilisé par l'administration française est le logiciel **MapInfo**. C'est donc à l'aide de cet outil, complémenté de son utilitaire d'analyse « **Vertical Mapper** », que j'ai travaillé à la réalisation de cartes d'inondabilité du val de Tours par remontée de nappes d'eau.

B/ Méthode :

a) Modélisation du terrain naturel :

• Rassembler les données :

Les semis de points du levé topographique correspondent à des fichiers « texte » comme présenté dans l'exemple ci-dessous. Chaque fichier contient les coordonnées géographiques de milliers de points au sol compris sur des dalles de 1 km x 1 km. Le premier travail consiste à rassembler tous les fichiers correspondant au val de Tours. Il y en a 169 en tout.



| | | |
|-----------|------------|-------|
| 509000.36 | 6694538.56 | 40.67 |
| 509000.73 | 6694537.36 | 40.75 |
| 509000.24 | 6694548.26 | 40.56 |
| 509000.78 | 6694546.47 | 40.68 |
| 509001.17 | 6694545.22 | 40.60 |
| 509002.10 | 6694542.21 | 40.71 |

X
Y
Z

Figure 2 : Exemple de données topographiques

Les coordonnées X et Y localisent géographiquement les point au sol. La colonne Z nous renseigne leur altitude.

• Intégrer les données sous MapInfo :

Pour visualiser les points et les superposer au SCAN 25** ou aux orthophotos***, chaque fichier doit être intégré dans le logiciel MapInfo.

Une des difficultés du travail s'est révélée dans la lourdeur des fichiers créés à partir du jeu de données initiales. J'ai dû sectoriser mes données pour pouvoir les modéliser.

* SIG : Système d'Information Géographique

** SCAN : Données image issues de la carte papier TOP25 de IGN à l'échelle du 1/25000^{ème}

*** Orthophotos : photographies vue du ciel

• Modéliser le relief à l'aide de Vertical Mapper :

Vertical Mapper est une application qui offre la possibilité de représenter des données qui varient de manière continue dans l'espace, comme l'altitude. Se basant sur les données X Y Z rattachées aux points, Vertical Mapper génère une image continue du phénomène. L'information d'abord inégalement répartie sur le territoire se retrouve, après interpolation, illustrée de façon continue sur le territoire.

Le résultat est logé dans un fichier pixelisé, dit «Smart Raster », où chaque pixel possède une valeur. Plus la taille de pixel est faible, meilleure est la précision. Cependant le travail de l'ordinateur sera d'autant plus long. **J'ai choisi une taille de pixel de deux mètres. Ainsi chacun d'entre-eux couvre une surface de 4 m² sur le terrain (2m x 2m), ce qui correspond à la densité minimum de points du levé topographique de l'IGN.**

Au final, on obtient le résultat ci-dessous. Les valeurs sur la légende correspondent aux altitudes au sol. Les zones blanches correspondent à des surfaces en eau (ici la Loire, le Cher et les plans d'eau du val de Tours).

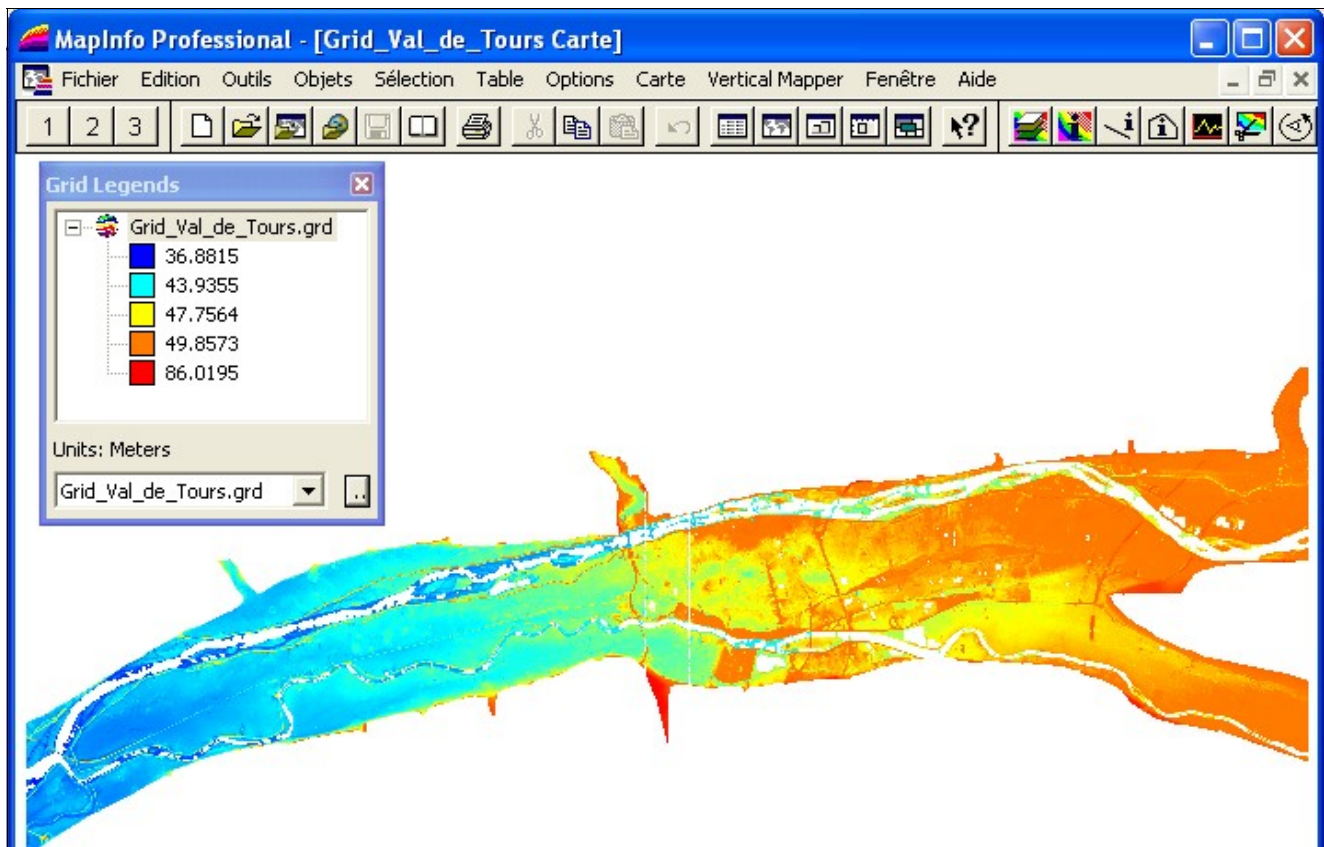


Figure 3 : modélisation du terrain naturel du val de Tours

b) Modélisation d'une nappe d'eau virtuelle :

La méthode consiste à créer entre les deux coteaux une nappe d'eau virtuelle qui pourrait envahir le val si celui-ci n'était pas doté de ses digues.

On considère que pour une crue la pente de la ligne d'eau est régulière. Il m'a donc fallu trouver des données sur les hauteurs de la Loire en crue entre Montlouis-sur-Loire et Villandry.

• Rassembler les données :

Dans un premier temps j'ai pensé me baser sur les données des échelles de crues en référence aux crues majeures des siècles précédents. Les informations sur ces crues sont nombreuses et répertoriées sur le site Internet de la DIREN Centre. Cependant il y a trop peu de données au sein même du lit endigué de la Loire pour pouvoir les exploiter correctement. Les échelles en dehors des levées font référence à des ruptures de digues, ce qui rend les hauteurs d'eau inexploitable car elles diffèrent de celles atteintes par la Loire sur un même axe.

Sur ce même site Internet, j'ai trouvé d'autres données exploitables. Depuis 1973, la DIREN Centre relève les hauteurs de la Loire en crue en différents endroits de la région. J'ai choisi de me baser sur la plus grande crue de la Loire à Tours sur cette période : celle survenue en décembre 2003. J'ai alors récupéré les hauteurs d'eau de 20 stations de mesures régulièrement réparties entre Montlouis-sur-Loire et La Chapelle-aux-Naux (aval immédiat de Villandry). Ces données sont présentées dans l'annexe 2.

• Intégrer les données sous MapInfo :

A partir de ces relevés, j'ai créé sous MapInfo une couche d'informations représentant, au droit de ces stations de mesures, des sections transversales au val auxquelles j'ai attribué les hauteurs d'eau de la crue de décembre 2003. C'est ce que l'on peut voir sur l'image suivante :

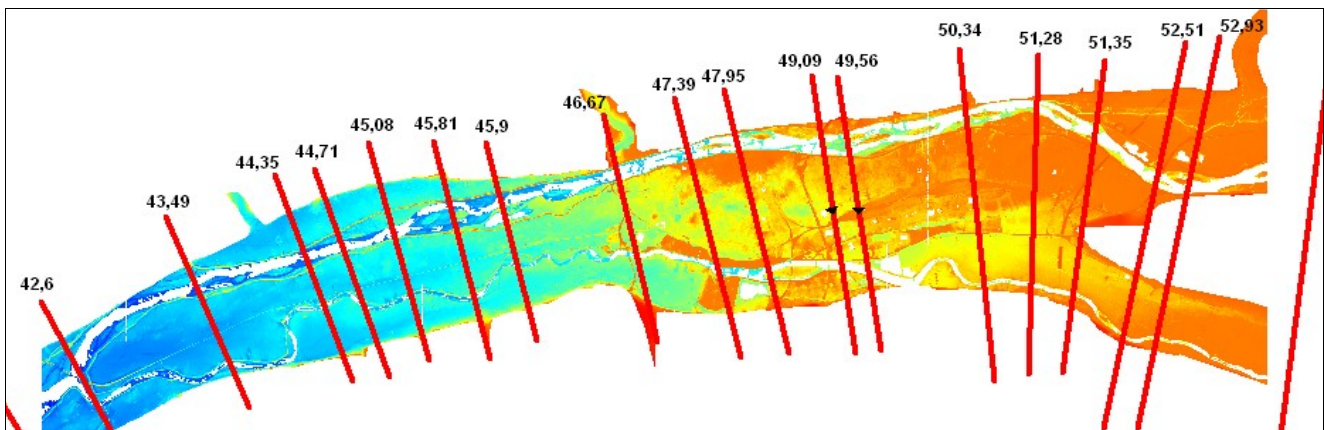


Figure 4 : Hauteurs d'eau atteinte par la Loire lors de la crue de décembre 2003 : les valeurs sont étendues au droit de la section entre les deux coteaux, comme s'il n'y avait pas de digue.

Cette méthode est critiquable dans le sens où les sections peuvent sensiblement varier selon la personne qui les dessine. Le seul point de référence est celui du lieu de la station de mesure. Pour ma part, j'ai tâché de rester le plus souvent possible perpendiculaire au val, et donc à l'axe d'écoulement hydraulique principal.

• Visualiser les données à l'aide de Vertical Mapper :

L'interpolation de ces données avec Vertical Mapper en offre la représentation suivante:

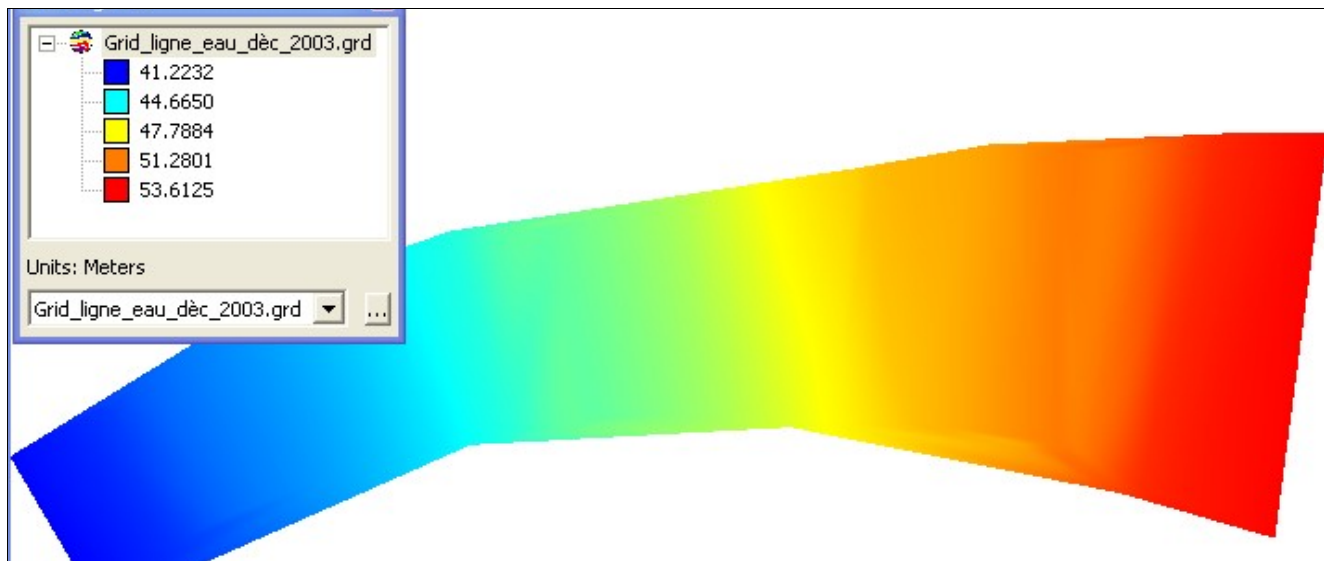


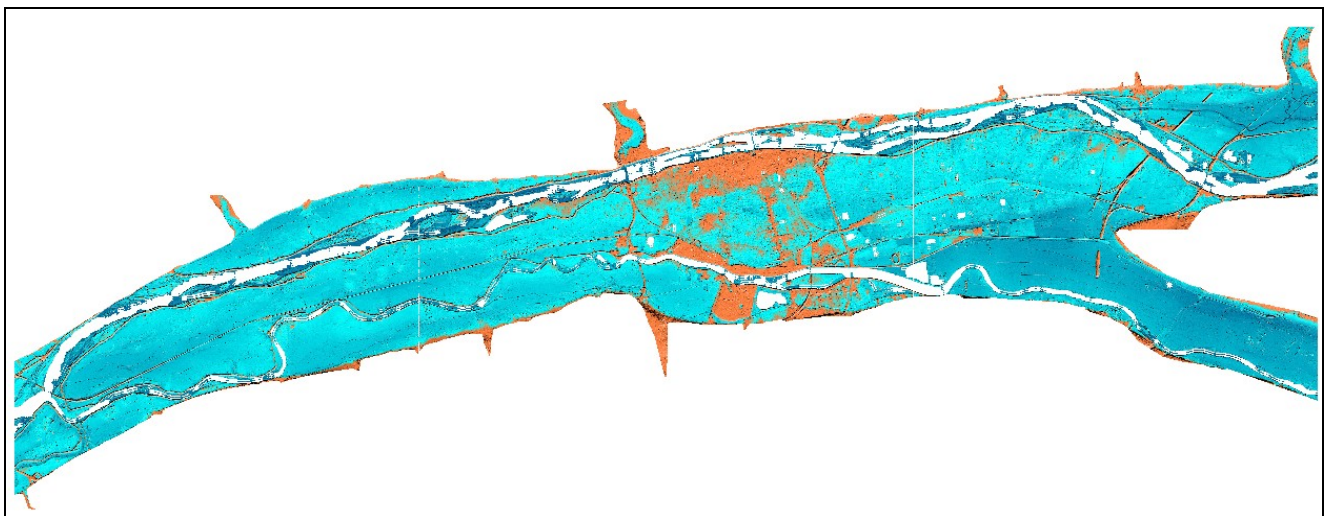
Figure 5 : nappe d'eau virtuelle créer à partir des données de la crue de décembre 2003

La nappe d'eau ainsi créée est associée à la hauteur de l'eau au pont Wilson à Tours (échelle de référence) lors de la crue de décembre 2003 : 3,40 mètres.

c) Variation de la hauteur d'eau et croisement des données :

Vertical Mapper permet de faire de multiples analyses. A partir de la nappe d'eau de décembre 2003, j'ai créé les nappes d'eau inférieures et supérieures en retirant ou rajoutant à chaque fois des hauteurs de 20 cm.

La couche du terrain naturel et celles des nappes d'eau sont superposables. **Il devient alors possible de mettre en évidence les zones inondées en fonction des différentes hauteurs d'eau dans le val.** C'est ce que présente l'exemple ci-dessous :



*Figure 6 : inondabilité du val de Tours pour une hauteur de 3,40 mètres d'eau à l'échelle du pont Wilson.
(en bleu les zones inondées, en orange les zones hors d'eau).*

En zoomant sur l'image, la définition est suffisamment correcte pour pouvoir déceler les principaux axes routiers. Pour plus de précision, la DDE 37 dispose de couches MapInfo sur le réseau routier, les chemins ou encore les voies ferrées du département d'Indre et Loire. Ces couches sont superposables aux cartes d'inondabilité.

L'ensemble de ces travaux a été rendu possible grâce à l'appui des membres du réseau géomatique de la DDE 37. En outre la démarche est inspirée des informations trouvées sur un support de formation de la DDE 37 relatif à l'utilisation de l'utilitaire d'analyse Vertical Mapper. Le forum d'échanges « GeoRezo » m'a aussi été fortement utile pour répondre à mes interrogations, qui furent nombreuses.

Les fichiers créés sont quelque peu conséquents et leur sauvegarde nécessite un lieu de stockage adapté (près de 30 Go).

Afin que la méthode puisse être reproductible dans d'autres vals et sur d'autres cours d'eau, j'ai rédigé pour les services concernés un guide technique sur la « modélisation de crue par remontée de nappe d'eau avec le logiciel MapInfo ». Les résultats seront d'autant plus pertinents sur les cours d'eau non endigués.

II- Inondation par rupture de digue :

Les catastrophes anciennes nous ont montré que les fondations humaines ont bien souvent leurs limites. Face à la force des eaux, les levées de la Loire se sont montrées défailtantes à maintes reprises lors des crues majeures des siècles passés. Pour évaluer l'ampleur des dégâts que pourrait créer une rupture de digue à ce jour et pour anticiper sur la gestion de la crise potentielle, il apparaît utile de pouvoir simuler ces événements et de suivre leur évolution au sein du val.

1) Matériel :

La simulation de brèches dans les levées de la Loire est aujourd'hui rendue possible grâce à l'utilisation de logiciels d'hydraulique, à l'image du logiciel MIKE 21 du groupe DHI. MIKE 21 est une suite logicielle professionnelle de modélisation numérique en deux dimensions des écoulements à surface libre. Il permet la simulation de l'hydraulique et des phénomènes associés dans les lacs, les baies, les zones côtières et les océans. Son utilisation est quelque peu détournée dans le cas présent pour simuler les écoulements de la Loire au sein du val de Tours.

2) Méthode :

MIKE 21 intègre le MNT du val de Tours. Des entrées d'eau sont simulées selon différents débits. Le débit maximum d'une ouverture de brèche est estimé par la DIREN Centre à $6 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$, soit $1800 \text{ m}^3/\text{s}$ pour une brèche de 300 mètres de large. On observe le sens des écoulements qui est fonction de la topographie du val, ainsi que la durée des événements. Une information est enregistrée toutes les trois minutes ce qui offre un bon aperçu du phénomène de propagation des eaux au sein du val.

Plusieurs scénarios peuvent ainsi être établis. Les simulations sont réalisées préférentiellement au droit des brèches historiques du val de Tours car les événements du passé ont montré que ces secteurs sont plus fragiles qu'ailleurs.

La majorité des brèches historiques sont répertoriées sur la partie amont du val de Tours. Ce secteur comprend les communes de St Pierre-des-Corps, la Ville-aux-Dames et Montlouis-sur-Loire, qui se sont fortement développées ces dernières années sous l'impulsion de zones d'activités proches. La zone a été imperméabilisée pour une grande part, favorisant des écoulements potentiellement rapides au sein du tissu urbain. Outre un risque de rupture de digue en cas de crue majeure de la Loire, le secteur amont du val de Tours présente plusieurs risques industriels majeurs. La commune de St Pierre-des-Corps comptabilise **3 sites SEVESO** de seuil haut : deux dépôts pétroliers et une zone de stockage et de conditionnement de gaz. **L'effet des eaux pourrait y être dévastateur.**

La ville de Tours elle est protégée de l'entrée des eaux par l'autoroute A10 qui traverse le val d'Est en Ouest. Cette autoroute est construite sur un remblai qui fait office de rempart. Tous les axes qui passent sous cet ouvrage sont dotés de moyens de fermeture appelés « batardeaux ». Les batardeaux se composent de glissières dans lesquelles viennent s'imbriquer des poutrelles métalliques. Les photos qui suivent illustrent le mécanisme. **La prise en compte de cette donnée est essentielle à la simulation.** Des scénarios seront établis batardeaux ouverts ou fermés. La mise en place des poutrelles demande en effet des moyens humains et matériels assez conséquents qui ne peuvent pas être mobilisés à la dernière minute. **Ainsi est-il utile de connaître les temps de propagation des eaux pour la priorisation des actions dans le cas d'une crise inondation par rupture de digue.**



Photos 2 et 3 : exemple de « batardeau ». A gauche la glissière maçonnée sur remblais; à droite les poutrelles métalliques qui ferment la route en empêchant l'eau de rentrer. Des joints caoutchouc assurent l'étanchéité du système.

Le temps de travail de l'ordinateur sur une brèche est relativement long (parfois plus de 50 heures). Pendant la durée de mon stage j'ai pu simuler deux ruptures de digues, à hauteur des lieux dits « Conneuil » et « la Boisselière » sur la commune de la Ville-aux-Dames. L'exploitation des résultats est abordée dans la troisième partie du rapport.

L'ensemble des travaux menés au cours de mon stage a apporté un nombre d'informations conséquent qu'il est nécessaire d'analyser dans le détail pour en tirer toute la substance utile. C'est l'objectif de la troisième partie qui suit.

- Partie 3 : Interprétation des résultats -

I- Cartes d'inondabilité par remontées de nappe :

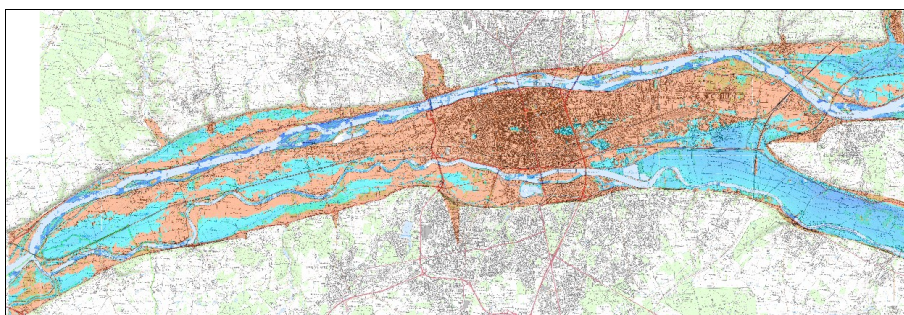
J'ai établi les cartes d'inondabilité du val de Tours par remontée d'une nappe d'eau liée des hauteurs comprises entre 0 et 8 mètres à l'échelle du pont Wilson. Cette échelle est celle de référence utilisée par le SHPC de la DIREN Centre et la DDE 37 comme repère visuel pour la prévision des crues dans le val. **Le zéro de l'échelle se situe à la côte NGF* de 44,6 mètres.**

Cette cartographie suppose que les digues sont transparentes et je rappelle que l'étude n'a pas permis d'établir une relation entre le niveau d'eau mesuré à l'échelle du pont Wilson et le niveau de la nappe d'accompagnement dans le val de Tours.

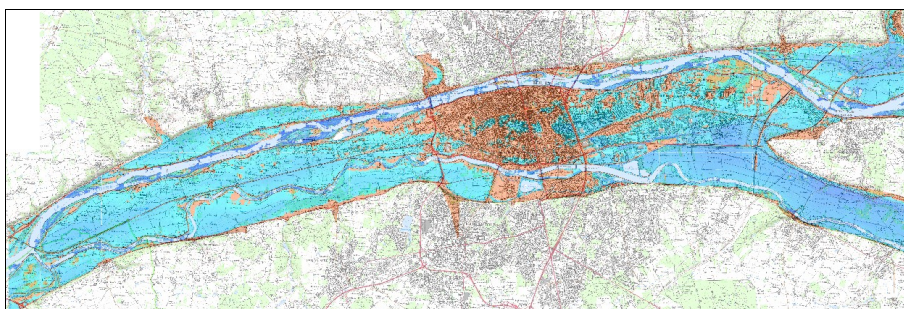
1) Potentialités du modèle :

Le pas de montée des eaux est de 20 cm. **Cela fait en tout quarante et une cartes.** Il ne serait pas pertinent de toutes les imprimer.

L'observation des cartes dans leur ensemble suggère des tendances. Par exemple une différence marquée de la zone d'inondabilité est observée entre 2 et 3 mètres d'eau. C'est ce que montrent les deux figures suivantes.



*Figure 7 : inondabilité du val de Tours pour une hauteur de 2 mètres d'eau à l'échelle du pont Wilson.
(en bleu les zones inondées, en orange les zones hors d'eau).*



*Figure 8 : inondabilité du val de Tours pour une hauteur de 3 mètres d'eau à l'échelle du pont Wilson.
(En bleu les zones inondées, en orange les zones hors d'eau).*

En dehors de ces deux valeurs, les variations ne sont pas manifestes et il est préférable d'observer les cartes dans leur détail. Leur interprétation est fonction du risque étudié (remontée de nappe ou de réseaux, débordements sur les digues), et aussi du secteur.

*NGF : Niveau Général de la France; altitude orthométrique de référence.

A/ Inondation par remontée de nappe alluviale :

L'enquête sur la nappe alluviale présentée page 11 et 12 montre que le risque de remontée de nappe sur la ville de Tours est limité. En revanche sur la partie aval du Val à la confluence du Cher et de la Loire il est plus probable que la nappe puisse avoir une incidence réelle. Ce secteur est occupé en grande partie par des jardins maraîchers. **Le modèle peut permettre d'y anticiper les routes coupées en cas de remontée de la nappe.**

Selon l'étude de Sogreah, en 2001 la nappe aurait dépassé 1 mètre d'eau à l'échelle du pont Wilson (45,68 mètres à hauteur du pont, soit 1,08 mètre au dessous du zéro de l'échelle. La Loire elle est montée jusqu'à 3,20 mètres cette même année). La carte d'inondabilité du val de Tours pour une hauteur d'eau de 1 mètre présente une légère zone d'inondation sur le secteur aval du val de Tours. Une enquête sur place pourrait permettre d'éclaircir les doutes sur la vulnérabilité de la zone. On voit sur l'extrait ci-dessous que la route reliant le lieu dit « les bois de plante » à celui du « Colombier » est coupée.

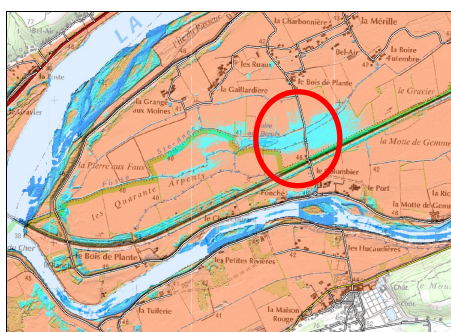


Figure 9 : extrait de la carte d'inondabilité du val de Tours pour une hauteur de 1,20 mètres d'eau à l'échelle du pont Wilson

B/ Inondation par remontée de réseaux :

Une inondation par remontée de réseaux est liée à un défaut d'écoulement des eaux d'assainissement en cas d'insuffisance ou de panne des systèmes de pompages destinés à refouler les eaux hors de la ville. **Le modèle met en évidence les points bas de la ville.** Il devient alors possible de connaître les secteurs potentiels pour ce risque : il s'agit des quartiers Est de la ville de Tours compris entre les voies ferrées et l'autoroute A10. **Les cartes d'inondabilité nous permettent alors de définir la zone probable d'expansion de l'eau et les routes coupées.** Ci-dessous un extrait de la carte d'inondabilité pour 1,60 mètre d'eau au pont Wilson. La surface de la zone inondée est à la cote NGF 46,2 mètres ($44,6 + 1,6$). Il y a jusqu'à 1 mètre d'eau au point le plus bas du quartier (que l'on peut localiser avec la carte d'inondabilité pour 0,6 mètre d'eau).

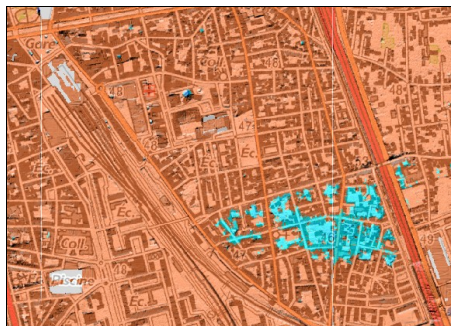


Figure 10 : extrait de la carte d'inondabilité du val de Tours pour une hauteur de 1,6 mètres d'eau à l'échelle du pont Wilson

C/ Débordements :

Le modèle met aussi en évidence les secteurs clefs sujets au risque de débordement. Sur l'image qui suit on voit que la route départementale 88E coté rive gauche présente des risques de débordements de la Loire entre les lieux-dit « la Poudrière » et « Prieuré de St Cosme ».

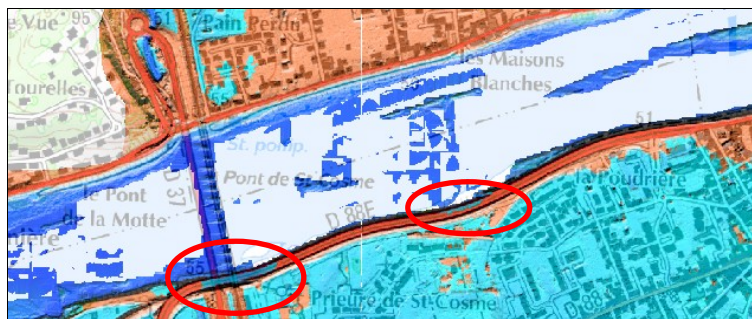


Figure 11 : extrait de la carte inondabilité du val de Tours pour une hauteur de 5,00 mètres d'eau à l'échelle du pont Wilson

A Montlouis-sur-Loire, le secteur en dessous du pont (trémie) de la voie ferrée qui traverse la Loire mérite une attention particulière. Selon le modèle il semblerait qu'à partir de 5,40 mètres d'eau au pont Wilson un risque de débord soit à craindre. Au delà de 5,60 mètres l'eau surverse sur le secteur et commence à envahir le val :

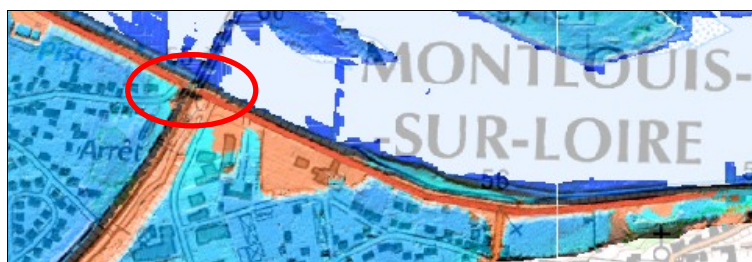


Figure 12 : extrait de la carte inondabilité du val de Tours pour une hauteur de 5,20 mètres d'eau à l'échelle du pont Wilson

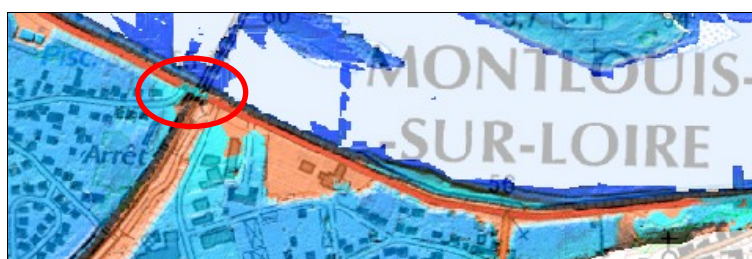


Figure 13 : extrait de la carte inondabilité du val de Tours pour une hauteur de 5,40 mètres d'eau à l'échelle du pont Wilson

Il est important de noter que toute information doit faire l'objet de vérifications sur le terrain, notamment celles relatives aux secteurs sous les ponts. En effet certaines données ne sont pas prises en compte par le MNT. Cette partie est abordée dans les limites du modèle.

2) Les limites du modèle :

A/ Les dérives de l'interpolation :

L'interpolation des points du MNT par Vertical Mapper pose **soucis pour les ponts** : ceux-ci apparaissent inexistant. Vertical Mapper semble se baser sur les points bas en dessous des ponts. Les routes comme la départementale 37 ci-dessous apparaissent ainsi coupées à hauteur des ponts alors qu'elles ne le devraient pas.

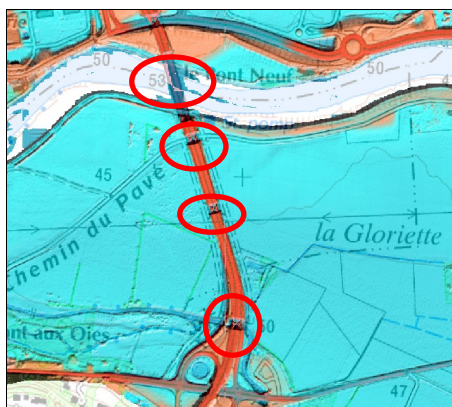


Figure 14 : extrait de la carte inondabilité du val de Tours pour une hauteur de 3,40 mètres d'eau à l'échelle du pont Wilson

B/ Les résultats faussés :

Selon le modèle, la route départementale 88E qui passe sous le pont St Cosme côté rive gauche de la Loire serait inondée à compter de 2,80 mètres d'eau au pont Wilson, comme on peut le voir sur l'extrait ci-dessous :



Figure 15 : extrait de la carte inondabilité du val de Tours pour une hauteur de 2,80 mètres d'eau à l'échelle du pont Wilson

Il s'agit en effet d'un point bas. Cependant sur cette portion de route il existe côté Loire un mur maçonné qui protège la route de la montée des eaux jusqu'à une hauteur que je ne peux définir sans mesures sur le terrain. Ce rempart fait moins de cinquante centimètres de large. Ainsi le levé topographique de la DIREN Centre n'a pas pu prendre en compte l'information. **La zone est considérée à tort comme inondable par le modèle. Il est donc important de toujours vérifier sur le terrain si certaines données n'ont pas échappé à l'informatique.**

C/ Les zones de confluences :

Le modèle ne peut en aucun cas être utilisé pour délimiter les zones d'inondabilité de la Loire par remous dans le val de ses affluents (la Cisse et la Choisille dans le cas présent). Le temps de propagation des crues, ainsi que les paramètres hydrodynamiques (largeur de l'embouchure) et l'influence des cours d'eau entre-eux (débits différents) entrent en jeu.

3) La validité du modèle :

Comme je l'ai signalé plus haut page 9, la délimitation des sections lors de la conception de la nappe d'eau sous MapInfo peut sensiblement varier selon la personne qui les dessine. Aussi **pour un secteur tel que Montlouis-sur-Loire, il est difficile de s'avouer précis** dans la prédiction des hauteurs d'eau de débord de la Loire. En effet sur ce secteur la Loire est « coudée », ce qui rend l'interprétation des écoulements de la masse d'eau assez subjective pour le positionnement des sections.

Il est alors utile de pouvoir se référer à des données historiques pour justifier des résultats trouvés : en 1907 la Loire était à fleur de quai à Montlouis-sur-Loire à peine 500 mètres en amont du pont SNCF, dans le centre du village à hauteur de la place Courtemanche en pied de coteau. La photographie ci-dessous illustre ces propos. L'eau avait alors atteint la hauteur de 5,60 mètres au pont Wilson.



*Photo 4 : crue de la Loire à Montlouis-sur-Loire en 1907 place Courtemanche
(Carte postale ancienne, données sources : Archives Départementales de la ville de Tours)*

Ci dessous l'extrait de la carte d'inondabilité du val de Tours pour une hauteur de 5,60 mètres au pont Wilson. Les résultats du modèle sont semblables aux fait historiques.



Figure 16 : extrait de la carte inondabilité du val de Tours pour une hauteur de 5,60 mètres d'eau à l'échelle du pont Wilson

II- Scénarios d'inondations par rupture de digue :

Il est utile de rappeler que ces scénarios sont des simulations et qu'en cas de rupture réelle de digue les événements varieront forcément sensiblement.

1) Les limites de l'informatique :

Encore une fois l'informatique a ses limites et il faut vérifier les données du terrain : MIKE 21 intègre les informations du MNT, à savoir les données topographiques des points relevés par l'IGN vue du ciel. Ainsi **certaines données sont cachées**, comme les voies d'accès sous les ponts et les ouvrages d'art (autoroute A10 notamment), aux travers desquelles l'eau peut circuler dans la réalité. Le MNT doit ainsi être « travaillé » en fonction des réalités du terrain.

2) Exemple d'une simulation :

Ci-dessous trois séquences d'une brèche simulée au droit de la levée de la Loire à la Ville-aux-Dames au lieu-dit « Conneuil », siège de plusieurs brèches historiques (entre autres en 1846 et 1856). La brèche fait un peu plus 220 mètres de large. Un débit de 1800 m³/s est injecté dans le val, en supposant que la brèche s'ouvre entièrement en un seul pas de temps. En rouge ci-dessous la Loire et le Cher :

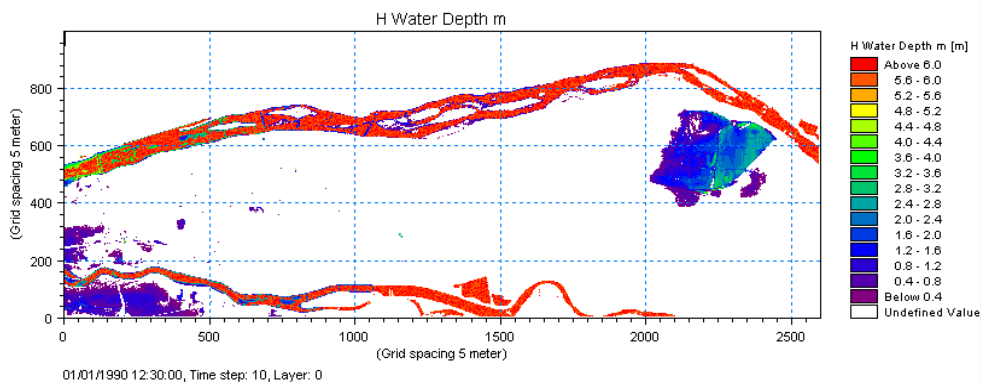


Figure 17 : Simulation de brèche à la Ville-aux-Dames au temps $t=30$ minutes

L'eau inonde la zone au droit du lieu-dit « Conneuil ». Une demi-heure après ouverture de la brèche, l'eau inonde une superficie de plus de 350 hectares sur la commune de la Ville-aux-Dames. Après avoir butté le long de la voie ferrée, l'eau trouve un passage et pénètre dans la zone d'activités commerciales de Conneuil.

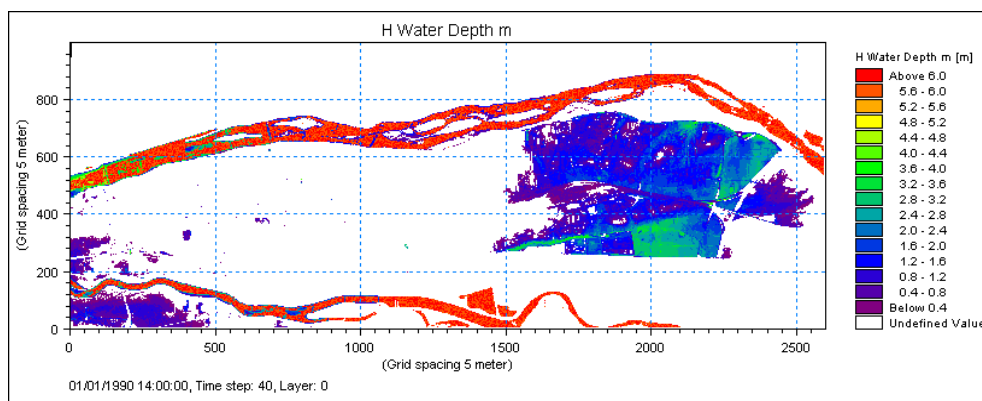


Figure 18 : Simulation de brèche à la Ville-aux-Dames au temps $t=120$ minutes

Les communes de St Pierre-des-Corps et de la Ville-aux-Dames sont gravement touchées par

les eaux qui envahissent le val amont de part et d'autre de la zone d'activités ferroviaires deux heures après ouverture de la brèche. La D140 au sud de St Pierre-des-Corps fait obstacle à l'écoulement des eaux vers le Cher.

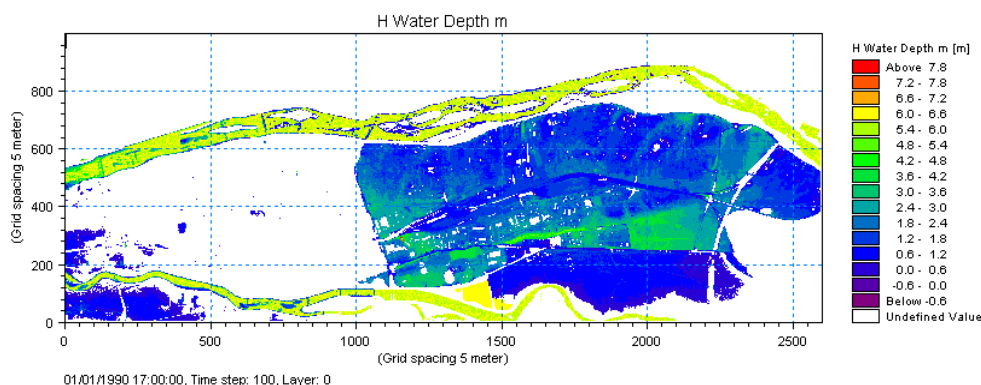


Figure 19 : Simulation de brèche à la Ville-aux-Dames au temps $t= 300$ minutes

Le val de Tours est totalement inondé sur sa partie amont 5 heures après l'ouverture de la brèche. L'eau butte le long du remblais de l'autoroute A10 et ne pénètre pas dans la ville de Tours. Les batardeaux sont fermés.

La rupture d'une digue est un événement brusque et rapide qui laisse peu de temps pour réagir. D'après cette simulation en moins de cinq heures tout le val amont est sous les eaux. Des milliers de gens sont concernés par cette menace.

Les crues du passé nous ont montré qu'au delà de six mètres d'eau au pont Wilson un risque de rupture de digue est réel. En cas de prévision alarmante, il est probable que la décision d'évacuer le val de Tours doive être prise, au moins sur sa partie amont.

L'analyse des cartes d'inondabilité du val de Tours et celle des scénarios par simulation de brèches offrent nombre de résultats utiles aux services de gestion de crise comme le service DECRIT. En outre ces informations servent à délimiter des secteurs où la réponse face au phénomène d'inondation est considérée comme homogène. Ces secteurs alimentent ensuite les données du logiciel « OSIRIS-Inondation ».

OSIRIS-inondation est un outil d'aide à la préparation et à la gestion de crise inondation. Il offre la possibilité de transformer les bulletins d'annonce de crue en scénarios cartographiques d'inondation puis en plan d'actions indiquant quels sont les secteurs et enjeux qui risquent d'être inondés, quelles actions doivent être mises en œuvre pour limiter l'impact et dans quels délais, et enfin quels sont les moyens à mobiliser pour réaliser ces actions. Cet outil s'adresse en premier lieu aux communes car elles se sont vues attribuer de nouvelles obligations en matière de prévention et de gestion de crise suite à la loi du 13 août 2004 relative à la modernisation de la sécurité civile : toutes les communes dotées d'un Plan de Prévention des Risques Naturels ont dorénavant obligation de mettre en place d'un Plan Communal de Sauvegarde (PCS). L'Etablissement Public Loire, en partenariat avec le Centre d'Études Techniques Maritimes et Fluviales (CETMEF, service du MEEDDM), ont développé OSIRIS pour aider dans cette tâche les communes sujettes au risque inondation.

Conclusion

Ce stage fut d'abord pour moi l'occasion d'appréhender la thématique des crues : j'ai ainsi découvert les documents réglementaires associés au risque inondation, les acteurs concernés par la gestion d'une crise éventuelle, et le fonctionnement de leurs services respectifs. D'autre part les travaux que j'ai menés m'ont permis de développer mon savoir-faire dans l'utilisation de l'outil SIG MapInfo. J'ai aussi appris à utiliser de nouveaux logiciels et je me suis familiarisé avec les concepts de la modélisation hydraulique.

Grâce à ce travail, la DIREN Centre et la DDE 37 seront maintenant mieux armés pour pouvoir répondre à la question des routes coupées dans le val de Tours en cas de crue majeure de la Loire. En outre les résultats seront utiles à la communication auprès des communes pour les aider à mieux cerner le risque qui les concerne.

L'expérience de ce stage fut pour moi enrichissante et formatrice. Le travail que j'ai réalisé répond à un besoin réel et la DIREN Centre souhaite le voir s'étendre à d'autres vals, dans le département et aussi sur la région.

Bibliographie

Charlot F., Falourd B., Vivier N., Xouillot T, 1996. La Loire, histoire des protections contre les crues. Direction régionale de l'Équipement du Centre, Orléans.

Auclerc P, Chenault C, Toureau P, 1996. Crues, inondations, quels risques aujourd'hui? La Loire et ses terroirs, dossier automne.

Auclerc P, 1998. Lutte contre les crues et les inondations en Loire moyenne, à l'heure du bilan. La Loire et ses terroirs, dossier n°30.

Direction Départementale de l'Équipement d'Indre et Loire / Service Urbanisme Aménagement et Environnement, Préfecture d'Indre et Loire / Cabinet SIDPC, 2005. Dossier Départemental des Risques Majeurs, p. 16-26.

SOGREAH Consultant, Équipe Pluridisciplinaire du Plan Loire Grandeur Nature, 2002. Extension prévisible des inondations pour les crues fortes en Loire moyenne [en ligne]. Disponible sur : <<http://www.inondation-loire.fr/tlchgt/Atlas/Accueil.htm>> (consulté en juin et juillet 2009).

Direction Régionale de l'Environnement région Centre, 2003. Atlas des zones inondables de la vallée de la Loire.[en ligne]. Disponible sur : <<http://www2.centre.ecologie.gouv.fr/azi1/index.htm>> (consulté en juin et juillet 2009).

Audin J, 2006. Analyse et cartographie de la nappe alluviale. Rapport d'étude R-4-56-0232-R2, SOGREAH Consultants.

Pierson G., 1982. Nappe phréatique entre Cher et Loire – Étude hydrogéologique. Rapport d'étude pour la DDE 37, Bureau d'étude géologique G. PIERSON _ Consultant _

Barnier P, CERSIG, 2002. VERTICAL MAPPER V2.6 – Livret 1. École Nationale des Sciences Géographiques, MARNES LA VALLEE

Annexes

- **Annexe 1** : Arrêtés préfectoraux relatifs à l'information des acquéreurs et des locataires de biens immobiliers sur les risques naturels et technologiques majeurs dans les communes de Tours et de Saint-Pierre-des-Corps.

- **Annexe 2** : Hauteurs de la Loire en crue entre Montlouis-sur-Loire et la Chapelle-aux-Naux les 9 et 10 décembre 2003 entre 15h22 et 11h18 (données source : DIREN Centre).

- **Annexe 3** : Copies du rapport d'étude R-4-56-0232-R2 réalisé par le bureau d'études SOGREAH Consultants et relatif à l'analyse et la cartographie de la nappe alluviale de la ville de Tours.

- **Annexe 4** : Photocopie de la carte des iso-courbes du toit de la nappe relatives à une étude de 1982 réalisée pour la DDE 37 par le bureau d'études géologiques G. PIERSON-Consultant.