

Projet de Fin d'Etudes

Evolution de l'accessibilité en période d'inondations sur des enjeux localisés

Détermination de la vulnérabilité en termes d'accessibilité



2007-2008

Directeur de recherche
SERRHINI Kamal

DUCROCQ Jessica

Collaboration : **POULIGNIER Gabriel**
(Département Informatique)

Formation par la recherche et Projet de Fin d'Etudes

La formation au génie de l'aménagement, assurée par le département aménagement de l'Ecole Polytechnique de l'Université de Tours, associe dans le champ de l'urbanisme et de l'aménagement, l'acquisition de connaissances fondamentales, l'acquisition de techniques et de savoir faire, la formation à la pratique professionnelle et la formation par la recherche. Cette dernière ne vise pas à former les seuls futurs élèves désireux de prolonger leur formation par les études doctorales, mais tout en ouvrant à cette voie, elle vise tout d'abord à favoriser la capacité des futurs ingénieurs à :

- Accroître leurs compétences en matière de pratique professionnelle par la mobilisation de connaissances et techniques, dont les fondements et contenus ont été explorés le plus finement possible afin d'en assurer une bonne maîtrise intellectuelle et pratique,
- Accroître la capacité des ingénieurs en génie de l'aménagement à innover tant en matière de méthodes que d'outils, mobilisables pour affronter et résoudre les problèmes complexes posés par l'organisation et la gestion des espaces.

La formation par la recherche inclut un exercice individuel de recherche, le projet de fin d'études (P.F.E.), situé en dernière année de formation des élèves ingénieurs. Cet exercice correspond à un stage d'une durée minimum de trois mois, en laboratoire de recherche, principalement au sein de l'équipe Ingénierie du Projet d'Aménagement, Paysage et Environnement de l'UMR 6173 CITERES à laquelle appartiennent les enseignants chercheurs du département aménagement.

Le travail de recherche, dont l'objectif de base est d'acquérir une compétence méthodologique en matière de recherche, doit répondre à l'un des deux grands objectifs :

- Développer tout une partie d'une méthode ou d'un outil nouveau permettant le traitement innovant d'un problème d'aménagement
- Approfondir les connaissances de base pour mieux affronter une question complexe en matière d'aménagement.

Sommaire

Remerciements.....	1
INTRODUCTION.....	2
PARTIE 1. PRESENTATION ET PROBLEMATISATION DU PFE.....	3
PARTIE 2. ETAT DE L'ART ET ETAT DES LIEUX.....	7
I) La compréhension générale du phénomène inondation.....	7
II) Les mesures de prévention et l'organisation des secours	11
III) Le Val de Tours, un lieu d'étude particulièrement sensible aux inondations.....	12
PARTIE 3. LA METHODE ET LES OUTILS DE TRAVAIL DU PFE.....	19
I) L'intégration d'un outil de classement par multicritère	19
II) Système d'Information Géographique (S.I.G.) et données nécessaires sous forme de bases de données.....	21
III) La méthode de travail, par croisement des bases et enrichissement du multicritère	24
IV) Présentation et limites des bases de données.....	28
PARTIE 4. OBTENTION ET ANALYSE DES RESULTATS	44
I) Détermination de la vulnérabilité potentielle.....	44
II) Détermination de la vulnérabilité effective.....	49
III) Analyse critique des résultats	63
CONCLUSION GENERALE.....	64
Table des matières.....	65
Table des illustrations.....	67
Annexes.....	68

Avertissement

Cette recherche a fait appel à des lectures, enquêtes et interviews. Tout emprunt à des contenus d'interviews, des écrits autres que strictement personnel, toute reproduction et citation, font systématiquement l'objet d'un référencement.

| Evolution de l'accessibilité en période d'inondation sur des enjeux localisés

Evolution de l'accessibilité en période d'inondations sur des enjeux localisés

Détermination de la vulnérabilité en termes d'accessibilité



Remerciements

Pour leurs aides et leurs informations, nous souhaitons à remercier tout particulièrement :

Nos tuteurs respectifs, Mr Serrhini et Mr Néron, pour leurs conseils et leur dévouement sur ce sujet,

Le Service Départemental d'Incendie et de Secours de l'Indre-et-Loire (SDIS 37), pour leur accueil et leur disponibilité,

Le Service Interministériel de Défense et de Protection Civile (SIDPC) de la Préfecture d'Indre-et-Loire, pour leurs réponses précises sur le sujet.

INTRODUCTION

Parmi tous les risques d'origine naturelle, l'inondation est le phénomène le plus courant. Dans le passé, l'inondation a souvent revêtu un caractère mystérieux, et les zones inondables ont toujours été considérées comme des territoires autant attrayants qu'astreignants. Selon les cultures et les époques, les fleuves et leurs caprices pouvaient tantôt être définis comme une contrainte aux capacités d'aménagement et d'étalement, tantôt comme un bienfait vital, nécessaire à la vie et à l'économie des populations.

Mais depuis des siècles et principalement depuis quelques décennies, dans les pays développés, l'homme se convint que les capacités de la technologie moderne permettent de contrôler les inconstances des rivières et d'éradiquer tout risque. Ainsi, assistons-nous à toujours plus d'installations et de constructions dans des zones, jadis peu aménagées, de fort aléa.

Pourtant, les inondations représentent aujourd'hui un danger pour les biens autant que pour les personnes. En effet, le risque inondation est le premier risque naturel en France, tant par l'importance des dommages qu'il provoque que par le nombre des communes concernées (environ 8000 communes).

Face à ce risque, il convient pour les communes d'améliorer leurs systèmes, à la fois en matière de prévention, de préparation et à terme, de gestion d'une crise d'inondation, notamment en matière de secours.

Or, si nombreux plans de protection et de préparation existent pour s'organiser face aux risques (Plan de Prévention des Risques d'Inondations, Plan Communal de Sauvegarde...), aucun de ses plans ne prévoit l'étude et l'impact des inondations sur le réseau routier, et ainsi, les conséquences d'une crue sur l'accessibilité des habitations et des équipements.

Ainsi, à travers l'étude de l'évolution de l'accessibilité sur des enjeux localisés, dans un contexte précis, nous nous proposons de caractériser une nouvelle forme de vulnérabilité, basée sur l'accessibilité de ces enjeux.

Cette étude se propose d'associer les acteurs de terrain, tels le Service Départemental d'Incendie et de Secours (SDIS), ou encore le Service Interministériel de Défense et de Protection Civile (SIDPC) de la Préfecture d'Indre et Loire pour leurs informations et leurs expériences en matière d'inondation.

Afin de déterminer les enjeux à secourir en priorité, l'intégration d'un outil de sélection par multicritère sera entièrement élaboré et appliqué dans l'étude à différents types d'inondations.

L'objectif de cette recherche est ainsi de commencer à élaborer un outil d'aide à la gestion de crise, afin de prévoir les conséquences des inondations sur le réseau routier et ainsi, élaborer des chemins idéaux d'accès aux enjeux par les services de secours.

PARTIE 1. PRESENTATION ET PROBLEMATISATION DU PFE

1. Une nouvelle approche de la vulnérabilité en période d'inondation

Les inondations sont un problème majoritaire en France. Elles constituent un risque majeur également en Europe et dans le monde entier. Au premier rang des catastrophes naturelles dans le monde, elles font environ 20 000 victimes par an. En France, le risque d'inondation concerne une commune sur trois à des degrés divers dont 300 grandes agglomérations¹.

En raison de pressions économiques, sociales, foncières ou encore politiques, les cours d'eau ont souvent été aménagés, couverts, déviés, augmentant ainsi la vulnérabilité des populations et des biens.

Le risque pouvant toucher ces zones est donc une réalité importante qu'il est bon de connaître. De nombreuses études se sont concentrées sur cette notion de risque.

Il se caractérise² par le résultat de la combinaison d'un aléa et d'une vulnérabilité :

$$\textbf{Risque} = \textbf{aléa} \times \textbf{vulnérabilité}$$

- L'**aléa** est la manifestation d'un phénomène naturel d'occurrence et d'intensité donnée.
- La **vulnérabilité** exprime et mesure le niveau de conséquences prévisibles de l'aléa sur les enjeux.

Mais si l'aléa est une donnée relativement fixe, les enjeux peuvent eux être de nature totalement différente. Ainsi, pour exprimer une vulnérabilité il faut commencer par définir un enjeu.

Différentes études ont déjà été menées selon différentes valeurs d'enjeux, c'est-à-dire suivant différentes vulnérabilités.

Dans la littérature, elle a souvent été caractérisée par la combinaison des dommages potentiels et la capacité du bien à résister à l'aléa. Cette résistance a été étudiée sous différents angles, notamment :

- la résistance physique ou géographique d'une infrastructure, qui se rapporte principalement aux études effectuées par des ingénieurs en génie civil,
 - la résistance psychologique des populations face à une crise,
 - ou encore la résistance post-crise ou résilience déterminant la manière et la durée de cicatrisation d'un enjeu touché par un aléa.
- « La résilience, c'est l'aptitude des individus et des systèmes (les familles, les groupes et les collectivités) à vaincre l'adversité ou une situation de risque. Cette aptitude évolue avec le

¹ « Les inondations, dossier d'information », Document d'information édité par le ministère de l'Écologie et du Développement durable, direction de la Prévention des pollutions et des risques, sous-direction de la Prévention des risques majeurs ; Août 2004.

² DUBOIS-MAURY Jocelyne, CHALINE Claude, 2002. – « Les risques urbains ». Armand Colin. – p. 11.

temps ; elle est renforcée par les facteurs de protection chez l'individu ou dans le système et le milieu ; elle contribue au maintien d'une bonne santé ou à l'amélioration de celle-ci.»³

Malgré toutes ces approches diverses, très peu de publications⁴ ont envisagé d'étudier ce que serait la vulnérabilité en terme d'accessibilité à des enjeux localisés. En effet, comment repérer en milieu urbain les zones les plus vulnérables concernant l'accessibilité des secours, dans le contexte d'une inondation perturbant le réseau routier ?

2. Objectifs du projet

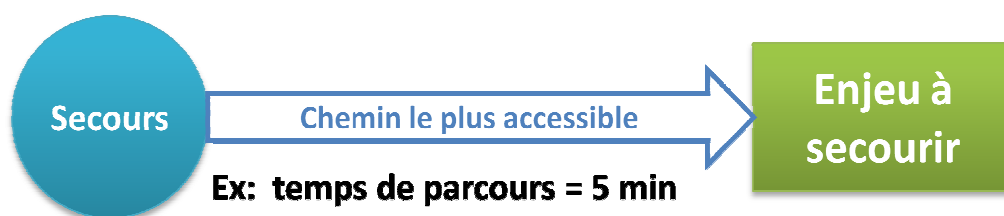
En effet, en cas d'inondation, une partie du territoire et des habitants peuvent se retrouver isolés par la montée des eaux sur certains tronçons routiers, perturbant l'organisation des secours. Face à ce trouble dans les services d'aide, certains bâtiments peuvent devenir des points stratégiques et prioritaires à secourir : ainsi, les écoles, les hôpitaux, les maisons de retraite se retrouveront particulièrement fragiles du fait du caractère non-autonome des habitants ; les centres commerciaux, culturels, sportifs ou de forte fréquentation peuvent également être un point prioritaire au vu de leur densité et afin d'éviter une confusion de la foule parfois dangereuse.

Ainsi, au fur et à mesure de la réflexion, se dessine des zones prioritaires à secourir, des enjeux majeurs à définir. Ces enjeux deviendront donc les « cibles à atteindre » par les services de secours. Pour optimiser l'intervention de ces derniers, les chemins les plus accessibles sont à définir à l'avance. Mais en période d'inondation, l'inaccessibilité de certains chemins rend les opérations de sauvetage plus délicates. Par où et comment passer ? Combien de temps prendra le chemin auxiliaire ? Quelle est la hauteur d'eau sur la route, et donc quel engin utiliser pour s'y rendre ? Telles peuvent être les questions que se poseront les secouristes.

Ainsi, il n'est pas inutile de prévoir à l'avance un autre chemin, lui accessible. Mais cette évolution du temps de parcours aura un impact plus ou moins fort sur l'accessibilité.

Pour mieux saisir cette notion voici deux croquis qui permettent de mieux appréhender cette notion d'accessibilité et son évolution :

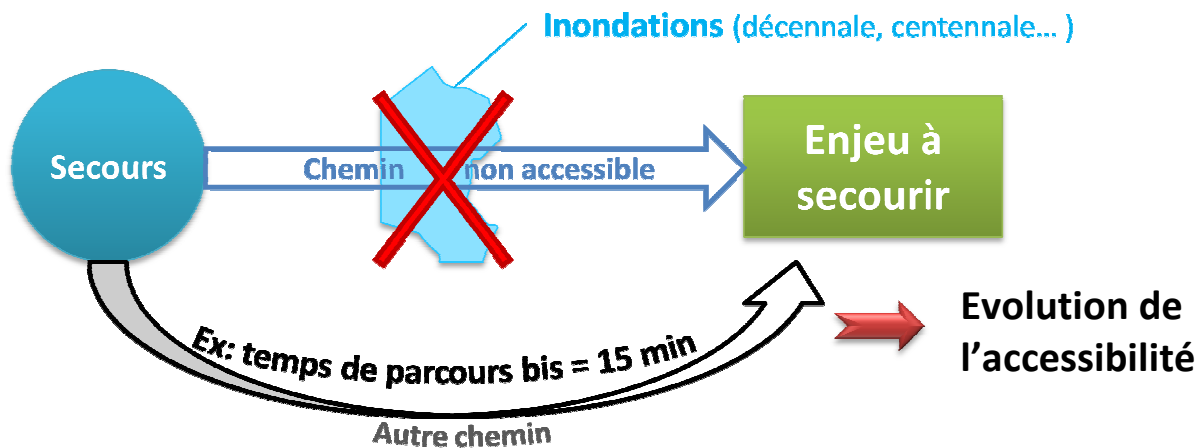
Dans un premier cas, en période normale, les secouristes vont effectuer un trajet, logiquement le plus accessible, et vont mettre un temps de parcours pour l'effectuer, le plus court possible.



³ Résilience, Pertinence dans le contexte de la promotion de la santé, Document de travail - Analyse détaillée présentée en 1995 à Santé Canada par Colin Mangham, Ph.D., Patrick McGrath, Ph.D., Graham Reid, Ph.D., Miriam Stewart, Ph.D., Atlantic Health Promotion Research Centre, Université Dalhousie.

⁴ VOIRON-CANICIO Christine, OLIVIER Florence, 2006. – « Anticiper à l'aide d'un SIG, les conséquences de la paralysie urbaine en temps de catastrophe : application à la ville de Nice – France ». in Système d'Information Géographique et gestion des risques. – Publication de l'ISTED. – p. 55-58.

Dans un second cas, lors d'inondations, le chemin habituel peut se retrouver sous une certaine hauteur d'eau. Les secouristes devront donc soit ralentir sur ce chemin, soit en emprunter un autre, et logiquement mettront un temps plus long. Ainsi, l'accessibilité à cet enjeu peut se retrouver changé.



C'est l'étude de cette évolution de l'accessibilité ainsi que son impact temporelle qui seront étudiés dans ce projet et qui mettra en lumière les enjeux particulièrement vulnérables en matière d'accessibilité en période d'inondation. Les localiser et prévoir des solutions pour l'avenir permettra d'améliorer les systèmes de prévention, de préparation et de gestion du risque.

Le projet s'inscrit ainsi dans une problématique du développement durable en termes de prévention, de préparation puis de gestion d'une crise d'inondation.

Ainsi, trois questions peuvent être l'objet de la problématique :

- Comment caractériser un enjeu majeur ou sensible ?
- Comment caractériser la vulnérabilité à travers l'accessibilité ?
- Comment améliorer la prévention, la préparation et la gestion d'une crise d'inondation ?

Les objectifs précis du PFE seront donc de trois points :

- Développer une méthode multicritère de sélection des enjeux
- Hiérarchiser les enjeux
- Evaluer la vulnérabilité des enjeux en simulation d'inondations

3. Cadre de recherche du projet

Ce travail de fin d'étude s'inscrit dans le cadre d'un projet de recherche (thèse) mené à l'Université de Technologie de Compiègne ayant pour titre ACCEL : Evaluation spatio-temporelle de l'**ACC**essibilité d'**Enjeux Localisés** en situation d'inondation.

Ce projet ACCEL a donc pour but l'évaluation de l'impact d'inondations sur le réseau routier urbain à travers la quantification de l'évolution spatio-temporelle de l'accessibilité d'enjeux localisés stratégiques. Il intègre totalement les acteurs de terrain qui aideront à la collecte des bases de données existantes et à l'élaboration des différents critères déterminant les enjeux majeurs. L'intégration de ces données dans le logiciel OSIRIS-Inondation permettra de déduire les enjeux les plus vulnérables et les moyens d'intervention appropriés.

Le projet sera mené par association de l'expérimentation et de la validation afin que la démarche, à terme vérifiable, soit adaptable à d'autres situations. Il intégrera la notion d'accessibilité, ignorée dans l'élaboration des plans de prévention existants alors qu'elle constitue un des facteurs clés. Enfin, il permettra la conception d'un modèle d'accessibilité grâce au couplage avec le logiciel OSIRIS-Inondation.

4. Les étapes à suivre

Pour mener à bien ce projet de fin d'étude, il impliquera dans un premier temps de s'approprier certaines connaissances sur le thème des inondations, de manière générale (leurs natures, les moyens de prévision, de prévention, l'organisation des secours...), ainsi que des connaissances plus précises sur le Val de Tours et l'agglomération de Tours (l'historique des inondations, les cartes de protections, les moyens de préventions...).

Suite à cela, une méthode de travail sera élaborée afin d'apporter des réponses aux éléments soulevés dans la problématique.

Les données nécessaires seront détaillées, ainsi que les limites auxquelles elles se confronteront.

Pour définir les enjeux prioritaires, un multicritère, outil indispensable, sera élaboré. Pour valider cette approche, un certain nombre d'acteurs tels que les pompiers, et plus généralement les services de secours chargés d'intervenir lors d'une inondation pourront nous aider à intégrer des informations techniques utiles pour mieux modéliser les interventions.

Enfin, les calculs d'accessibilités seront effectués pour déterminer la vulnérabilité souhaitée.

5. Un projet en coopération avec le Département Informatique de Polytech'Tours

Ce projet aura la particularité de bénéficier d'une coopération dans le travail effectué. En effet, il sera mené en transversalité avec un autre département de Polytech'Tours, le Département Informatique. Ainsi, un élève de 5^{ème} année, Gabriel Poulignier, encadré par Emmanuel Néron, effectuera son PFE en association avec ce travail. Son étude portera prioritairement sur l'élaboration d'un outil d'analyse multicritère, utilisant la méthode Electre III.

PARTIE 2. ETAT DE L'ART ET ETAT DES LIEUX

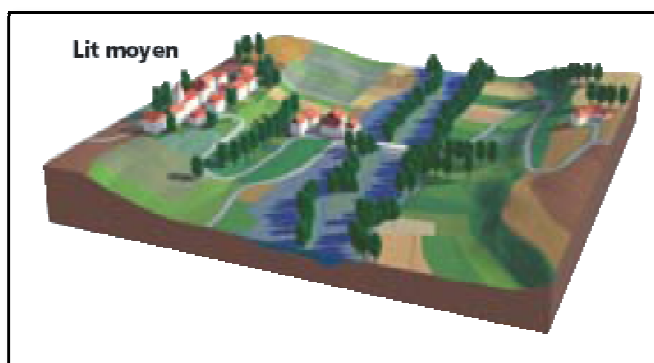
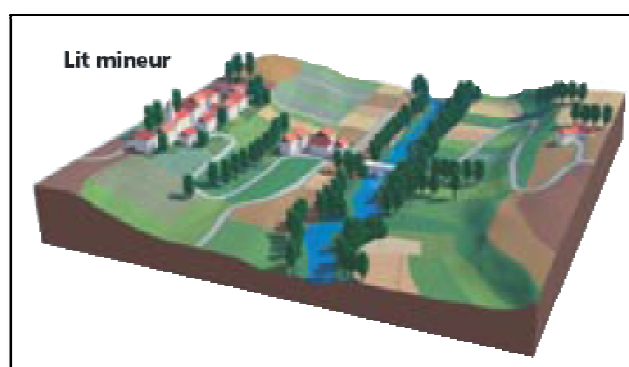
I) La compréhension générale du phénomène inondation

Un document d'information édité par le ministère de l'Écologie et du Développement durable⁵, explique très clairement ce qu'est l'inondation et quels en sont les risques. Leurs renseignements nous ont permis de mieux comprendre ce phénomène.

1. Composition d'un cours d'eau

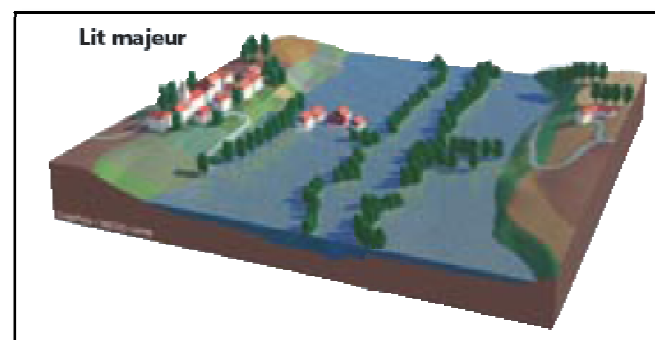
Un cours d'eau est composé de différentes zones terrestres dont la fréquence d'inondation détermine leur appellation. Toute zone où une submersion est possible se nomme le lit. On distingue ainsi trois catégories de lits en fonction de la fréquence d'inondation⁶ :

- le lit mineur : zone submergée en permanence, correspondant à l'écoulement normal du cours d'eau ;



- le lit moyen : zones, distinguables sous certains climats (méditerranéen), ordinairement occupées par la ripisylve (végétation abondante et variée qui borde les rivières), soumises à un risque fréquent d'inondation (crues aux périodes de retour de 1 à 10 ans en moyenne) ;

- le lit majeur : zones basses, situées de part et d'autres du lit mineur sur une distance pouvant varier de quelques mètres à plusieurs kilomètres, correspondant aux terrains submergés lors des inondations exceptionnelles.



⁵ « Les inondations, dossier d'information », Document d'information édité par le ministère de l'Écologie et du Développement durable, direction de la Prévention des pollutions et des risques, sous-direction de la Prévention des risques majeurs ; Août 2004

⁶ Les images proviennent du même ouvrage que celui cité ci-dessus.

Le lit majeur fait partie intégrante de la rivière, ainsi, en s'y installant, les populations s'installent dans la rivière.

- Hors du lit majeur, le risque d'inondation fluviale est nul, mais n'exclut pas le risque d'inondation par ruissellement pluvial, en zone urbanisée notamment. Dans ce PFE, ce type d'inondation ne sera pas prit en compte, ainsi, nous estimerons qu'en dehors du lit majeur, il n'y a aucun risque d'inondation.

2. Typologie et définitions du phénomène, limitées aux inondations par débordement direct

Il existe trois principaux types d'inondations :

- Par débordement direct : une inondation peut avoir lieu quand une rivière déborde de son lit mineur pour occuper son lit majeur.
- Par accumulation d'eau ruisselée : ceci se passe lorsqu'il y a une capacité insuffisante d'infiltration, d'évacuation des sols ou du réseau de drainage lors de pluies anormales. Ces inondations peuvent se produire en zone urbanisée, en dehors du lit des cours d'eau proprement dit, quand des détritits font obstacle à l'écoulement normal des pluies intenses (orages, en particulier de type cévenol).
- Par débordement indirect : c'est-à-dire lorsque les eaux remontent à travers les nappes alluviales, dans les réseaux d'assainissement par effet de siphon.

- Dans ce PFE ne sera abordée que l'étude d'inondations ayant pour origine un débordement direct.

Comment peut-on alors définir une inondation dans la limite de ce PFE précisé ci-dessus ?

- *Proposition de définition :*

L'inondation est une submersion temporaire, rapide ou lente, naturelle ou artificielle, du lit moyen et/ou majeur de la rivière, par un certain volume d'eau.

Une crue correspond à l'augmentation du débit (m^3/s) d'un cours d'eau, dépassant le débit acceptable du lit mineur de la rivière. Elle se traduit par une augmentation de la hauteur d'eau, puis par un débordement d'eau sur les terres voisines.

On peut décrire quantitativement une inondation par la superficie de l'aire inondée, la hauteur d'eau moyenne et la durée du débordement.

Il existe différents types d'inondations, en fonction de leur occurrence.

3. L'occurrence des crues

On distingue par ordre croissant les crues annuelles (Q1), les crues décennales (Q10), les crues cinquantennales (Q50), les crues centennales (Q100), et enfin la crue cinq-centennales (Q500) ou exceptionnelles. On a tendance à penser que le type de crue dépend de la période de retour, mais en réalité, il dépend de la probabilité annuelle de retour.

	Probabilité annuelle	Période moyenne de retour
Crue décennale	1/10	10 ans
Crue cinquantennale	1/50	50 ans
Crue centennale	1/100	100 ans
Crue cinq-centennale	1/500	500 ans

Ainsi, une crue de fréquence centennale ou de période moyenne de retour de 100 ans a 1 chance sur 100 d'être observée chaque année. Cette valeur n'est qu'une donnée statistique : par exemple, au 19^{ème} siècle, 3 crues plus que centennales se sont succédé en moins de 30 ans en Loire moyenne alors que le 20^{ème} siècle n'en a connu aucune.

De même, il existe une relation statistique entre le débit maximum d'une crue à un point donné et la probabilité que cette crue se produise. Ce débit varie selon les fleuves et les lieux d'observation.

Il est également possible de déterminer les zones sur lesquelles les inondations sont susceptibles de se produire, de façon plus ou moins étendue et fréquente, pour cause de débordement de cours d'eau. Ceci correspond à l'aléa inondation.

4. L'aléa inondation

Quatre paramètres principaux sont nécessaires pour qualifier l'aléa inondation⁷ :

- L'occurrence de la crue

Les événements les plus souvent représentés sur la carte d'aléa sont la crue décennale (Q10) et la crue centennale (Q100).

L'aléa de référence servant de base à l'élaboration des documents réglementaires correspond à l'événement centennal ou au plus fort événement connu, s'il présente une fréquence supérieure à cent ans.

- La hauteur et la durée de submersion

⁷ « Les inondations, dossier d'information », Document d'information édité par le ministère de l'Écologie et du Développement durable, direction de la Prévention des pollutions et des risques, sous-direction de la Prévention des risques majeurs ; Août 2004

La hauteur de submersion peut avoir un impact important sur le bâti : la structure porteuse de l'habitation peut être endommagée, et les sols et murs gorgés d'eau. De plus, des problèmes sanitaires peuvent survenir, l'eau étant souvent sale, contaminée par les égouts ou parfois le mazout échappé des cuves.

Pour l'homme, on considère généralement que des hauteurs d'eau supérieures à 50 cm sont dangereuses. À titre d'exemple, une voiture commence à flotter à partir de 30 cm d'eau.

- La vitesse du courant

La vitesse d'écoulement est conditionnée par la pente du lit et sa rugosité. Elle peut atteindre plusieurs mètres par seconde. La dangerosité de l'écoulement dépend du couple hauteur / vitesse.

À titre d'exemple, à partir de 0,50 m/s, la vitesse du courant devient dangereuse pour l'homme, avec un risque d'être emporté par le cours d'eau ou d'être blessé par des objets charriés à vive allure.

- Le volume de matière transportée

Il s'agit de matériaux (argiles, limons, sables, graviers, galets, blocs, etc.) se trouvant dans les cours d'eau, et dont le transport peut s'effectuer soit par suspension dans l'eau, soit par déplacement sur le fond du lit, du fait des forces liées au courant.

Chacun de ces trois derniers paramètres a plus ou moins d'importance selon les caractéristiques de la rivière. Par exemple, l'aléa inondation d'une rivière, dont la pente en long est faible (inférieure à 0,1 %) sera surtout caractérisé par la hauteur de submersion. L'aléa inondation d'une rivière torrentielle sera essentiellement caractérisé par une vitesse du courant élevée et un fort transport de solides.

L'aléa de la Loire est caractérisé⁸ par la hauteur de submersion et la vitesse du courant. Pour information, sur la région tourangelle, la pente est inférieure à 0,1% (environ 0,04%⁹).

5. Le risque inondation

Le risque inondation est la conséquence de deux composantes¹⁰ :

- l'eau qui peut sortir de son lit habituel d'écoulement : l'aléa inondation,
- et le niveau de conséquences prévisibles de l'aléa sur les enjeux. Ceci correspondant à la vulnérabilité.

Ces deux paramètres se combinent pour former le risque :

$$\text{Risque} = \text{aléa} \times \text{vulnérabilité}$$

⁸ Carte d'aléa de la Loire effectuée par la DIREN Centre, d'après l'atlas des zones inondables de la vallée de la Loire.

⁹ Calcul effectué sur ArcMap entre St-Genouph et St-Pierre-de-Corps, distants d'environ 15 370 m, pour une différence de dénivelé de 6 m (44,07 à St-Genouph et 50,09 à St-Pierre-de-Corps).

¹⁰ DUBOIS-MAURY Jocelyne, CHALINE Claude, 2002. – « Les risques urbains ». Armand Colin. – p. 11.

II) Les mesures de prévention et l'organisation des secours

1. La prévention des inondations

Les responsabilités sont distribuées entre État et communes, mais le Maire reste au centre du dispositif de prévention des risques d'inondations, en matière d'aménagement (permis de construire et de plan local d'urbanisme), de sécurité (organisation des secours, évacuation,...) et d'information préventive (dossier communal d'information sur les risques, plan d'affichage).

L'Etat, via le Préfet, est complémentaire. C'est à préfecture que s'organisent les plans d'aménagement visant à empêcher toute construction en zone inondable (plans de prévention des risques naturels), ainsi que les plans de prévention et de secours (plan ORSEC).

Les atlas des zones inondables forment un bon outil de connaissance sur les risques d'inondation, sous forme de textes et de cartes.¹¹

2. L'organisation des secours, entre Etat et Maires

- L'information préventive des populations :

L'information des populations contribue à la prévention des risques d'inondations depuis 1987. Elle renseigne le citoyen sur les risques majeurs susceptibles de se développer. Une Cellule d'Analyse des Risques et d'Information Préventive (CARIP), dans chaque département et sous l'autorité du Préfet, établit le Dossier Départemental des Risques Majeurs (DDRM). Il permettra alors aux Maires d'élaborer le document communal synthétique pour l'information préventive dans leur commune.

- Les services de secours :

Suivant les circonstances de l'accident ou du sinistre, en termes de conséquences géographiques, ou en termes d'ampleur ou de spécificités des moyens de secours nécessaires, l'organisation des secours sera sous la responsabilité du Maire ou du Préfet.

Les Services d'Incendie et de Secours sont organisés à plusieurs niveaux. Au niveau de la commune c'est le Centre de Première Intervention et le Centre de Secours ; au niveau du département, il s'agit du Service Départemental d'Incendie et de Secours (S.D.I.S.) ; enfin, au niveau national c'est la Sécurité Civile.

- Les plans de secours :

Il existe plusieurs types de plan de secours, ayant pour objectif de recenser et mobiliser les moyens publics et privés susceptibles d'être mis en œuvre, suivant le risque encouru. Ils définissent également les conditions de leur emploi par les autorités compétentes pour diriger les secours. Responsable du déclenchement du plan ORSEC (Plans d'ORganisation des SECours), le Préfet assure la coordination entre les services de l'Etat et le président ou l' élu de la collectivité territoriale.

¹¹ Pour plus d'informations sur le sujet, voir l'annexe I) p. 68

III) Le Val de Tours, un lieu d'étude particulièrement sensible aux inondations

1. Le régime hydrologique de la Loire

La situation géographique et la constitution géologique de son bassin versant font de la Loire le plus irrégulier des grands fleuves de France. Son régime hydrologique est inhabituel pour un climat tempéré : à des étiages très sévères peuvent succéder des crues exceptionnelles.

a. Les différentes types de crues

Les crues de la Loire peuvent être regroupées en trois familles¹² :

- **Les crues océaniques**

Ce sont les plus fréquentes. Elles ont lieu surtout en hiver et sont provoquées par des fronts pluvieux venant de l'océan. Ces crues sont d'importance variable. En Loire moyenne, du Bec d'Allier au Bec de Vienne, les débits de ces crues sont toujours inférieurs à ceux que peuvent contenir les levées. En Basse Loire, à l'aval du bec de Vienne, ces crues peuvent atteindre la limite de débordement des levées.

- **Les crues cévenoles**

Ce sont les types de crue les plus brutales. Elles résultent de précipitations orageuses d'origine méditerranéenne qui surviennent en général à l'automne (septembre-octobre-novembre) ou plus rarement au printemps (mai-juin) sur les hauts bassins de la Loire et de l'Allier. Localisées sur les hauts bassins, elles s'atténuent rapidement si elles ne sont pas soutenues en aval par des apports d'une crue océanique.

- **Les crues mixtes**

C'est la conjonction d'une crue "cévenole" et d'une crue "océanique". Elle va se traduire par une montée des eaux généralisée sur l'ensemble du bassin. Ce sont les crues les plus redoutables pour la Loire moyenne. C'est à ce type de crue mixte qu'appartiennent les trois grandes crues d'octobre 1846, de mai-juin 1856 et de septembre 1866. Leur débit au confluent de la Loire et de l'Allier a atteint un maximum estimé à 7 600 m³/s.

b. L'historique des inondations

La DIREN de bassin Loire-Bretagne a publié¹³ une liste regroupant les plus grandes crues sur la Loire relevées à diverses stations dont celle de Tours, datant, à cette station pour la plus vieille de 1789, et la plus récente de 2003.

La hauteur d'eau indiquée a été mesurée aux échelles de crue, c'est-à-dire à une hauteur locale.

¹² Caractéristiques du val de Tours, site Internet de la DIREN de Bassin Loire-Bretagne (http://www2.centre.ecologie.gouv.fr/azi1/htm/D-37/Caracteristique_val/07_PA.htm)

¹³ Disponible sur le site : http://www.centre.ecologie.gouv.fr/liste_des_plus_grandes_crues.htm#TOURS

Voici une représentation graphique des niveaux donnés :

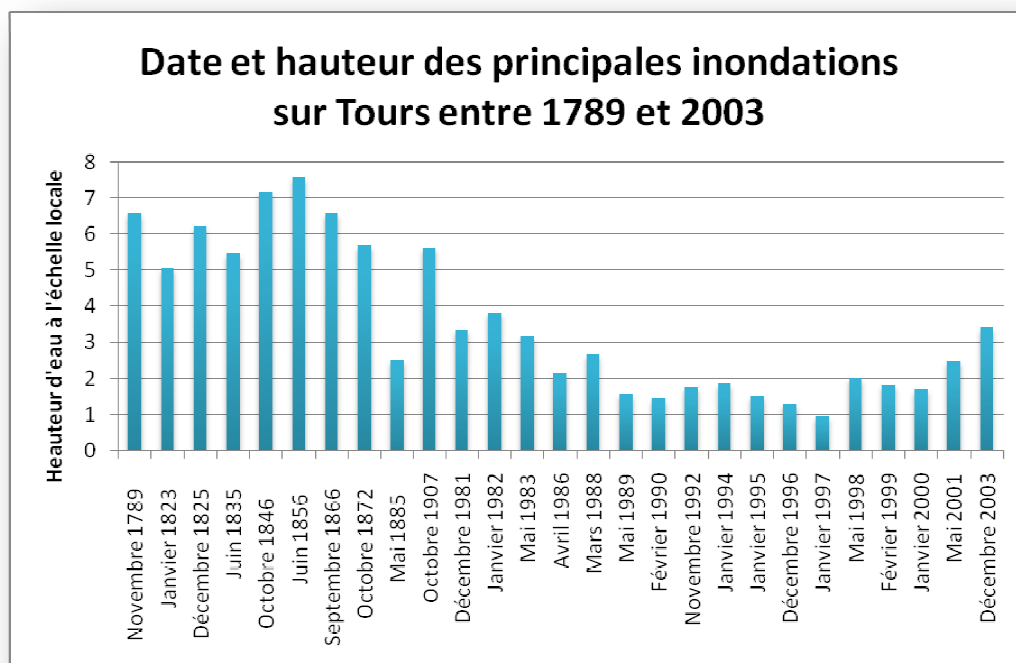


Figure 1 : Graphique déterminant les dates et hauteurs des principales inondations ayant eu lieu à Tours, entre 1789 et 2003

Source : DIREN de bassin Loire-Bretagne

En effet, nous pouvons constater que les plus grandes crues de produisirent au 19^{ème} siècle. Nous pouvons de même connaître la hauteur de la plus importe inondation enregistrée. Il s'agit pour la ville de Tours de celle de Juin 1856, dont la hauteur atteignit environ 7,6 m. Cette hauteur est donc définie comme étant la Plus Haute Eau Connue (PHEC).

c. La probabilité des crues

La relation statistique entre le débit maximum d'une crue et la probabilité qu'elle se produise, au confluent de la Loire et de l'Allier, est la suivante :

	Probabilité annuelle	Période de retour	Débit de pointe au Bec d'Allier
Crue cinquantennale	1/50	50 ans	4 200 m ³ /s
Crue centennale	1/100	100 ans	6 000 m ³ /s
Crue cinq-centennale	1/500	500 ans	8 500 m ³ /s

Ce débit de pointe est un bon renseignement pour qualifier une crue à venir. En fonction de celui-ci, il est possible de se préparer à une inondation à venir, et de connaître approximativement son importance.

2. Caractéristiques du Val de Tours, et région d'étude du PFE

a. Description du val

Situé entre la Loire et le Cher, le val de Tours s'étend sur une longueur de 26 km, du coteau de Montlouis jusqu'au confluent de la Loire et du Cher. Sa superficie est d'environ 4600 hectares.¹⁴

Le val de Tours est aujourd'hui très fortement urbanisé, la ville de Tours occupant toute la zone centrale du val. Les communes fortement urbanisées de Saint Pierre des Corps, la Ville aux Dames et la Riche, et celles moins denses de Saint-Genouph, Montlouis et Berthenay, se situent entièrement dans le val. En cas d'inondation, suite à une rupture de levée, ce val représentera à lui seul plus de 40% des enjeux inondés en Loire moyenne pour l'habitat et les activités économiques fluviales, ce qui le place au premier rang pour ce type d'enjeux¹⁵.

Le val de Tours est donc entièrement endigué. En cas d'inondation, les digues sont le principal recours de défense pour protéger la population et le territoire des dégâts potentiels imaginables. Cependant, d'après le Service Interministériel de Défense et de Protection Civile (SIDPC) de la préfecture d'Indre et Loire, le scénario de la rupture de digue est le plus redouté par le Préfet.

En effet, une inondation par débordement est prévisible bien à l'avance (environ 48 heures), et le Plan de Secours Spécialisé prévoit toutes les évacuations et éventuelles mesures à effectuer pour protéger les populations risquant de se retrouver en situation périlleuse.

Cependant, ce Plan est totalement dépendant des digues, et ne prévoit absolument pas une possible rupture de celles-ci. Les dégâts et les terres inondées en cas de crue et de rupture de digue sont totalement imprévisibles. Il semblerait de plus que toutes les cartes de prévisions auraient été vues à la hausse. Les hauteurs pourraient avoir été sous-estimées de 1,5 à 2 fois la hauteur annoncée.

- Ainsi, la rupture de digue serait un scénario intéressant à étudier afin d'apporter quelques réponses à cette possibilité dont personne n'est en mesure d'imaginer l'ampleur. Dans ce PFE, nous allons donc partir de ce principe. Les résultats seront bien sûr à relativiser avec toutes les imprécisions et les limites que nous verrons plus tard.

b. Les limites de la région d'étude : l'agglomération tourangelle

Pour ce PFE, nous allons nous limiter à l'agglomération tourangelle, Tour(s)plus. En effet, l'étude de la seule ville de Tours aurait été trop restreinte, de même que l'étude de tout son Val aurait été trop vaste. Les limites de l'agglomération présentent donc un bon intermédiaire, d'autant plus que pour une majorité de documents, les informations fournies concernent précisément cette agglomération.

¹⁴ Ibid.

¹⁵ Ibid.

Celle-ci se compose donc des communes de :



- Chambray-lès-Tours,
- Fondettes,
- Joué-lès-Tours,
- La Membrolle-sur-Choisille,
- La Riche,
- Luynes,
- Mettray,
- Notre-Dame-d'Oé,
- Saint-Avertin,
- Saint-Cyr-sur-Loire,
- Saint-Etienne-de-Chigny,
- Saint-Genouph,
- Saint-Pierre-des-Corps,
- Tours.

Figure 2 : Les communes de Tour(s)plus et leur densité d'habitants au km²

Source : site Internet de Tour(s)plus

c. Le risque d'inondation sur l'agglomération de Tours

Tours et ses environs ont de maintes fois été victimes d'inondation. Tout le val, à l'exception des quartiers hauts de la ville situés sur le long de la Loire, de part et d'autre de la rue Nationale (correspondant au Vieux Tours), a été inondé au moins une fois. Les plus grosses crues enregistrées se sont produites au 19^{ème} siècle.

Les hauteurs d'eau dans la ville de Tours sont connues grâce aux documents d'archive : souvent comprises entre 1 et 2 mètres, elles ont ponctuellement pu dépasser 4 mètres. En effet, lors des grandes crues, les niveaux atteints en 1846, 1856 et 1856 ainsi que durant la crue d'octobre 1907 sont les suivants :

Année	Débits maximaux en m ³ /s		Hauteur maximale de la Loire aux échelles de crues en m
	Bec d'Allier	Tours	
1846	Proche de 7600	-	Tours (Z ₀ = 44,60 m) 7,15
1856	7600	5500	7,52
1866	7600	5500	7,20
1907	4150	4000	5,60

Le risque actuel n'en est pas moins important, malgré les digues.

Concernant Tour(s)plus, les villes de Tours et Saint-Pierre-des-Corps sont les plus fragiles aux risques d'inondations. Tours possède le plus grand nombre de logements construits en zone inondable (42 008), ce qui représente plus d'un logement sur deux (56%), de même, concernant la population (54%) comme indiqué dans le tableau ci-dessous¹⁶. Quant à Saint-Pierre-des-Corps, elle possède 100% de ses logements en zone inondable, donc 100% de sa population.

Douze communes de plus de 10 000 habitants en zone inondable de la Loire

Commune	Nombre de logements en 1999			Population totale 1999 (a)			Surface (km ²)			Densité de population (a)		
	En ZI (b)	Total	% ZI	En ZI (b)	Totale	% ZI	En ZI (b)	Totale	% ZI	En ZI (b)	Hors ZI	Totale
Tours	42 008	74 395	56	72 222	132 677	54	14,31	33	43	5 046	3 221	4 007
Orléans	9 544	56 607	17	19 105	113 089	17	8,24	28	30	2 320	4 818	4 068
St-Pierre-des-Corps	7 113	7 113	100	15 757	15 757	100	11,16	11	100	1 411	0	1 402
Blois	4 325	24 685	18	7 633	49 062	16	9,07	38	24	842	1 452	1 303
Olivet	3 050	9 076	34	6 290	19 209	33	4,24	23	18	1 483	676	822
Amboise	1 288	5 323	24	2 494	11 461	22	4,00	41	10	609	243	279
Gien	1 193	7 246	16	1 881	14 778	13	4,39	68	6	429	203	217
St-Avertin	530	5 680	9	879	14 094	6	2,06	13	16	427	1 204	1 081
St-Jean-de-Braye	170	7 579	2	337	17 606	2	0,83	14	6	405	1 340	1 282
St-Cyr-sur-Loire	172	7 332	2	324	16 096	2	0,66	13	5	489	1 238	1 201
Joué-lès-Tours	18	15 815	0	77	36 511	0	1,18	33	4	65	1 162	1 121
St-Jean-de-la-Ruelle	0	6 833	0	0	16 406	0	0,20	6	3	0	2 777	2 683
	69 411	227 684	30	126 999	456 124	28	60,44	321	19	2 101	1 265	1 423

Les cadres rouges indiquent les villes de plus de 100 000 habitants faisant partie de Tour(s)plus. On remarque que les villes les moins touchées par les risques d'inondation sont celles situées sur les coteaux nord ou sud, tels St-Cyr-sur-Loire, Saint-Avertin ou Joué-Lès-Tours. Le risque d'inondation de Tours et Saint-Pierre-des-Corps peut être visualisé par la carte des aléas.

d. La carte des aléas

La carte des aléas extraite de l'atlas des zones inondables est un bon outil d'analyse des zones à risques. L'aléa y est défini suivant la hauteur maximale de submersion et la vitesse de l'eau¹⁷ :

- aléa faible : submersion inférieure à 1 mètre et sans vitesse ;
- aléa moyen : submersion comprise entre 1 et 2 mètres avec une vitesse d'eau nulle à faible ou submersion inférieure à 1 mètre mais avec une vitesse d'eau moyenne à forte (c'est-à-dire capable de déséquilibrer un adulte) ;
- aléa fort : submersion supérieure à 2 mètres avec une vitesse d'eau nulle à faible ou submersion comprise entre 1 et 2 mètres avec une vitesse d'eau moyenne à forte ;

¹⁶ INSEE Centre « Info », n°145, septembre 2007.

¹⁷ Source : Dren Centre, Atlas des zones inondables de la vallée de la Loire, 1995, actualisé en 2002

- aléa très fort : submersion supérieure à 2 mètres avec une vitesse d'eau moyenne à forte ou zone de danger particulier à l'aval immédiat d'un réservoir.

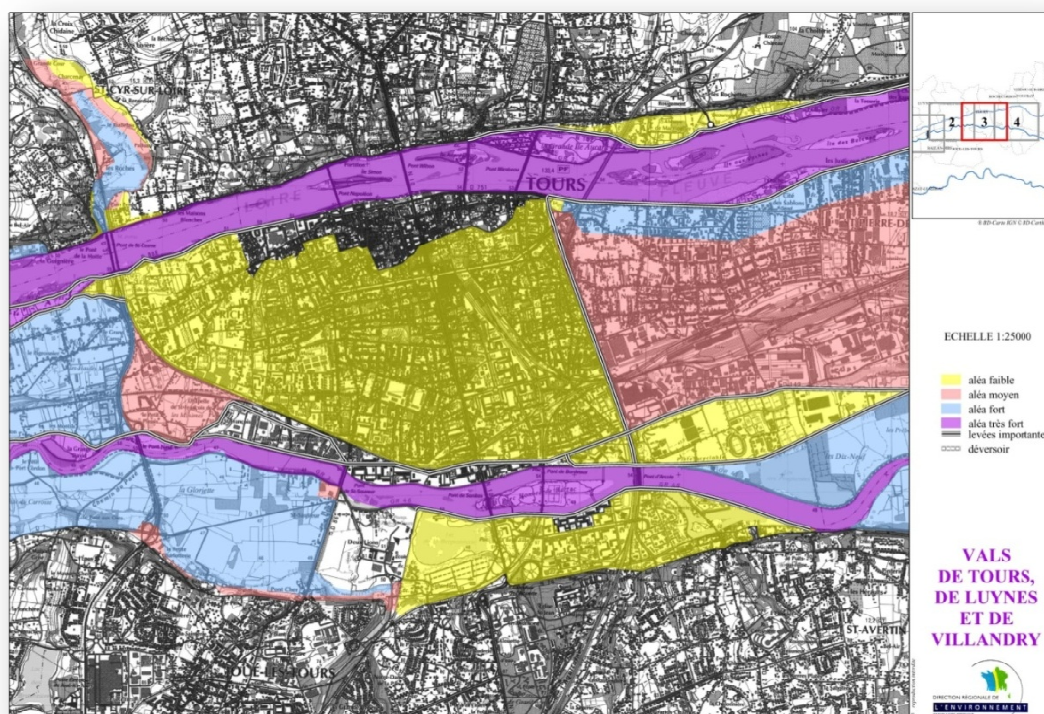


Figure 3 : Extrait de la carte des aléas des vals de Tours, de Luynes et de Villandry

Sources : DIREN Centre, Atlas des zones inondables de la vallée de la Loire, 2002.

Si les zones les plus urbanisées de Tours sont en risque d'aléa faible, voire nul, Saint-Pierre-des-Corps en revanche, est entièrement localisée dans des zones d'aléa non nul, allant même jusqu'à l'aléa fort. C'est le cas de cette bande le long de la Loire, au sud du fleuve. Si ce risque est considéré comme fort, c'est que cette zone se situe juste derrière une levée. En cas de rupture de celle-ci, les risques sont importants. Ainsi cette zone a été classée en aléa fort.

En cas d'inondation, les équipes de secours ont pour mission d'évacuer les personnes risquant la force et la hauteur du courant. Afin de mieux connaître les modalités de secours, nous nous sommes rendus au centre du SDIS. Leurs réponses nous ont permis de mieux appréhender leurs missions.

3. Les missions et les effectifs du SDIS 37 mobilisables face au risque inondation¹⁸

Une crise majeure entraînerait des procédures extraordinaires dépassant l'organisation quotidienne des secours, avec des méthodes et un commandement adaptés. Ce risque exige également l'engagement de moyens spécifiques.

L'évacuation des personnes et des animaux

Certains habitants refusent d'abandonner leur demeure, et y restent "les pieds dans l'eau", jusqu'au dernier moment.

¹⁸ Extrait d'un document fourni par le SDIS 37 lors de notre visite au centre de Fondettes.



VLTT (Véhicule de Liaison et de reconnaissance Tout Terrain)

Pour secourir ces personnes, le SDIS 37 serait alors en mesure de mobiliser des **véhicules 4x4 susceptibles de traverser des nappes d'eau de 40 à 50 cm de hauteur**, sans risque de dommages :

- de 27 véhicules légers tout terrain (VLTT),
- de 39 camions citernes feux de forêts (CCFF).

Les VLTT sont spécialisés dans les missions de reconnaissance et de sauvetage. Les CCFF sont habituellement utilisés pour combattre les feux de forêt mais, paradoxalement, ils seraient en première ligne pour effectuer des missions de sauvetage en cas d'inondation grave.

Chacun de ces véhicules est en mesure d'évacuer trois à quatre personnes. Un seul mouvement aller-retour de ces véhicules permettrait donc le transport d'environ 200 personnes. Il est facile de comptabiliser le nombre de personnes secourues après 5, 10 ou 20 rotations.

Le sauvetage et le ravitaillement des personnes et des animaux menacés

En cas de forte inondation, certaines habitations seraient rapidement noyées sous les eaux. L'élévation du niveau de l'eau permettrait alors au SDIS d'engager des embarcations de secours.

En égard à l'urgence des interventions et à la densité de population à secourir, le SDIS pourrait faire usage de **trois types d'embarcation**, en l'occurrence :

- de 20 canots de sauvetage légers (CSL),
- de 8 embarcations de sauvetage (EMBS),
- d'1 véhicule d'intervention subaquatique (VIS),
- des scaphandriers autonomes légers (SAL).

Tous ces bateaux sont motorisés. Chaque CSL peut recevoir, à son bord, 4 à 6 personnes - y compris le conducteur. Chaque EMBS peut recevoir à son bord 8 à 10 personnes - y compris le conducteur.



CSL (Canot de sauvetage Léger)



VIS (Véhicule d'intervention subaquatique)

Le ravitaillement des personnes et des animaux isolés

Un ravitaillement de grande ampleur entraînerait inéluctablement une *mutualisation des moyens*.



VSAV (Véhicule de Secours et d'Assistance aux Victimes)

Le transport des victimes vers les centres hospitaliers locaux

Une forte inondation peut entraîner la mort par noyade de très nombreuses personnes, mais aussi des traumatismes physiques et psychologiques

Pour le transport de ces victimes, le SDIS dispose de 50 véhicules de secours et d'assistance aux victimes (VSAV).

PARTIE 3. LA METHODE ET LES OUTILS DE TRAVAIL DU PFE

I) L'intégration d'un outil de classement par multicritère

1. Un programme basé sur la méthode Electre III

La méthode ELECTRE III relève de la problématique de procédure de classement : son but est de classer les actions potentielles, depuis les "meilleures" jusqu'aux "moins bonnes", grâce à la pondération de certains critères déterminés à l'avance.

Pour chaque critères des seuils sont saisis (seuil d'indifférence et de préférence, éventuellement de véto), et le programme calcul l'action, de la plus respectueuse des critères souhaités, jusqu'à la moins respectueuse.

Pour de plus amples informations sur l'outil utilisé dans ce PFE, consulter le projet de fin d'études élaboré par Gabriel Poulignier.

2. Application dans le cadre de l'étude d'accessibilité

L'outil multicritère Electre III s'intègre très bien dans le cadre de l'étude d'accessibilité en milieu urbain en cas de risque d'inondations.

Les actions présentes ne seront autres que les enjeux que à étudier, c'est-à-dire les lieux auxquels les services de secours seront tenus de faire attention en cas de risque d'inondation.

Cet outil va permettre de hiérarchiser les enjeux, en fonction des critères. Ainsi, nous obtiendront l'ordre dans lequel les enjeux doivent être secourus par les services de secours.

3. Les critères choisis

Les paramètres choisis qui rentreront en compte dans l'établissement de la classification du multicritère ont été définis suivant des avis personnels, mais également avec le concours du Service Départemental d'Incendie et de Secours (SDIS).

Il s'agit des paramètres suivant :

Des critères informant sur le risque encouru par les populations de l'enjeu :

- la zone d'aléa d'implantation de l'enjeu concerné,
- Le nombre d'étage du bâtiment afin d'apprécier les possibilités de mise à l'abri des populations éventuellement pris au piège par une inondation.

Des critères informant sur la population concernée :

- Le nombre d'habitants résidant en moyenne dans le bâtiment,
- L'autonomie ou la fragilité des personnes du bâtiment, afin de connaître les possibilités de faire face seul à une inondation (par exemple, une population adulte ne réagira pas de

la même façon que des élèves d'une école primaire ou des pensionnaires d'une maison de retraite),

- Les éventuels risques plus ou moins importants pouvant survenir en cas d'inondation, ne concernant pas directement les personnes, mais pouvant leur être dommageable (par exemple les risques industriels menant à une explosion, une pollution forte, un incendie, etc.), ou bien les impacts sur des biens entraînant des préjudices pour tous (des dossiers administratifs inondés, des machines d'hôpitaux endommagés, etc.),
- Enfin, un critère renseignant sur l'importance du statut des personnes victimes (une Préfecture ou une Mairie, comparé à une habitation banale).

Ces différents critères se verront attribués une performance, c'est-à-dire une valeur pour chaque enjeu. Chaque critère sera de plus déterminé par une pondération qui influera sur le classement des enjeux.

Les performances correspondant seront réelles ou estimées. Pour chaque enjeu, la raison du chiffre sera détaillée. Les performances pourront avoir différentes valeurs :

Aléa	Etages	Population	Autonomie	Risques non humains	Importance de la population
Entre 0 et 4 suivant la valeur de l'aléa	Nombre maximal d'étages de l'édifice	Valeur moyenne réelle ou estimée	Entre 1 et 5 selon le type majoritaire de population	Ici, entre 0 et 2 selon le risque encouru	Ici, entre 0 et 2, selon l'importance stratégique en cas de crue

4. Inconvénients de la méthode

Le principal inconvénient de la méthode est qu'elle fournit un résultat hiérarchisé mais dont on ne connaît pas réellement les disparités. Concrètement la méthode sera capable de définir l'ordre dans lequel il faudra secourir les enjeux du plus au moins important, mais il ne sera pas capable de dire quel est « l'écart d'importance » entre deux enjeux.

Ce problème reste minime car notre problématique consiste à définir un ordre total dans lequel la différence entre deux critères importe peu. Le seul véritable bémol réside plus dans le fait que la méthode Electre III peut définir des actions ex-æquo. S'il se trouve que trop d'enjeux se retrouvent ex-æquo, il faudra alors modifier légèrement les paramètres afin de déterminer un ordre, sans quoi, le travail n'aurait plus vraiment de sens.

Un autre inconvénient, est que l'école ne possède aucune licence d'Electre III. Le travail de Gabriel sera donc d'établir un programme qui remplacera ce logiciel.

II) **Système d'Information Géographique (S.I.G.) et données nécessaires sous forme de bases de données**

1. Un travail sur Système d'Information Géographique (S.I.G.)

Ce travail nécessite des calculs d'accessibilité précis, basés sur des coordonnées spatiales déterminées. Il repose de même sur des bases de données et a pour but d'être modélisé visuellement par des cartes. Le Système d'Information Géographique est donc le meilleur outil pour combiner des informations sous forme de bases de données, visualisables par des cartes. De plus les outils d'analyse spatiale pourront effectuer des superpositions de cartes et des croisements entre elles.

2. Un travail basé sur trois bases de données principales

L'objectif de la recherche est d'évaluer l'impact des inondations sur l'accessibilité à certains enjeux localisés. Il convient donc de tabler ce travail sur une base de données regroupant trois bases :

- l'ensemble du **réseau routier** afin de déterminer les chemins empruntables par les services de secours pour parvenir jusqu'aux enjeux. Cette base doit contenir une description la plus précise du réseau de transport, le type de voie pour en connaître la vitesse possible réalisable par les voitures des services de secours, et enfin, l'altitude du réseau afin de connaître les tronçons potentiellement inondables suivant la hauteur de la crue étudiée.
- la localisation des **principaux enjeux localisés** déterminés par avance. Ceux-ci seront définis par l'approche multicritère d'aide à la sélection, afin de déterminer les principaux bâtiments susceptibles d'être en proie à un isolement menaçant. Cette base renseignera sur les lieux d'interventions des secouristes, ainsi que les caractéristiques de l'enjeu. C'est l'accessibilité à chacun de ces enjeux qui sera étudié et dont on en déduira la vulnérabilité potentielle en termes d'accessibilité.
- différents scénarios d'**inondations** (crue décennale, centennale...) seront modélisés afin de repérer les zones du territoire submergées par l'inondation en question. Cette base sera nécessaire pour déduire les tronçons routiers non accessibles par les véhicules de secours, et donc de recalculer les itinéraires pour atteindre les enjeux. Ce nouveau calcul d'accessibilité permettra de connaître la vulnérabilité effective en période d'inondations de ces enjeux.

L'étude de ces trois cartes se fera en parallèle. C'est le croisement entre ces cartes qui permettra d'effectuer les calculs nécessaires. Ce croisement pourra se traduire par la méthode de travail.

3. Deux définitions d'indicateurs d'accessibilité

Dans ce projet, on se propose de développer différentes classes d'indicateurs d'accessibilité, répondant à des phases données de déroulement d'une inondation. Il est en effet certain que

l'accessibilité change que l'on soit avant une période de crise, c'est-à-dire en situation normale, pendant, donc avec des tronçons inaccessibles, ou après la crise, pendant la remise en état du réseau de transport. L'accessibilité étudiée vers différents enjeux ne sera donc pas la même selon la période d'étude.

Même s'il serait préférable d'étudier l'accessibilité selon toutes les phases de déroulement de la crue, dans ce PFE, nous ne travaillerons pas sur l'accessibilité post-crise, c'est-à-dire après l'inondation pendant que le réseau routier se remet progressivement en place. En effet, hormis le manque de temps pour effectuer les calculs, les paramètres qui régissent cette phase sont trop complexes et difficile à cerner.

Il ne sera donc étudié que l'accessibilité avant inondation, donc dite « en période normale » et l'accessibilité « pendant inondation ». Ainsi, nous obtiendrons deux types de vulnérabilité.

a. La vulnérabilité potentielle

Cet indicateur a pour objectif d'estimer la vulnérabilité des enjeux localisés à travers la quantification de leur accessibilité en dehors d'une crise d'inondation.

Pour ce faire, l'itinéraire minimal possible entre chaque enjeu et les postes de secours sera calculé, afin d'apprécier le caractère d'accessibilité entre eux deux. Une forte vulnérabilité potentielle sera donc définie dans ce PFE par un long chemin à effectuer, ou un chemin pénible du fait de la complexité du réseau routier (petites rues, vitesse de circulation faible...).

b. La vulnérabilité effective

Cet indicateur estimera la vulnérabilité des enjeux à travers la quantification de leur accessibilité pendant une crise d'inondation.

De même que pour l'accessibilité post-crise, les paramètres concernant la crise en temps réelle dans les conditions réelles ne pourront être définis du fait de l'absence d'informations et de retours entre les services de secours et ce prototype de modélisation. Ainsi, pour étudier la vulnérabilité en période d'inondation, une modélisation préalable sera effectuée sur ordinateur, qui croisée avec le réseau routier, nous donnera les informations requises pour établir les voies coupées ou difficiles d'accès. Cette accessibilité sera donc basée sur des conditions susceptibles de se produire, dans les limites qui seront décrites plus loin.

Différents types d'inondations seront étudiés, en fonction du type de crues : décennale, cinquantennale, centennale, exceptionnelle... Ceci nous conduira ainsi à différentes accessibilités effectives suivant l'importance de la crue.

4. Le logiciel du calcul d'accessibilité

Le logiciel utilisé pour traiter les bases de données, ArcMap, dispose d'un module d'analyse spatiale permettant de calculer les chemins minimaux, ainsi que le temps parcouru, mais ce module est payant. Alors un autre logiciel, proposant une méthode similaire, mais disponible gratuitement sur internet a donc été utilisé. Il s'agit de GVSIG, et le module s'intitule « network analyse ».

Ce logiciel aurait alors pu être utilisé pour effectuer toutes les opérations nécessaires au PFE, cependant, certaines fonctions sont moins développées que dans ArcMap, logiciel de référence. GVSIG a donc été utilisé uniquement pour les calculs d'accessibilité.

Ce logiciel permet de positionner des étapes sur un graphe et de déterminer le chemin à effectuer qui coûtera le moins en une unité spécifiée à l'avance. Si, par exemple, le coût demandé est la distance, le logiciel effectuera tous les calculs pour au final sélectionner le chemin dépensant le moins de mètres. Il faudra alors posséder dans la base de données du graphe un champ spécifiant la longueur de chaque élément. Le logiciel, en calculant le chemin, additionne alors chaque longueur de l'élément du chemin emprunté. Le chemin optimal est donc celui dont la somme de la longueur de chaque arc est minimale.

Concernant, les temps de parcours, il est possible de spécifier pour chaque type d'arc la vitesse de parcours. Cependant, il a été observé que le logiciel ne calculait pas directement le temps à partir de la vitesse et de la longueur des arcs ; du moins, si cette fonction existe, elle n'a pas été trouvée. Par contre, en effectuant le même raisonnement que pour les distances, il est possible de choisir le chemin optimum en termes de temps. Pour cela, il est nécessaire d'intégrer au préalable un champ, dans la base de données du graphe, qui précise le coût en temps de chaque arc.

Pour calculer ce coût, une vitesse est attribuée pour chaque élément, en fonction du type de voie. Connaissant la longueur de cet élément, il est facile de déterminer le temps de parcours de chaque arc. La colonne du coût est alors la division du champ longueur sur le champ vitesse. En calculant le chemin optimum, le logiciel additionne alors les temps de chaque arc et ainsi choisir le chemin consommant le moins de temps.

III) La méthode de travail, par croisement des bases et enrichissement du multicritère

1. La méthode de travail

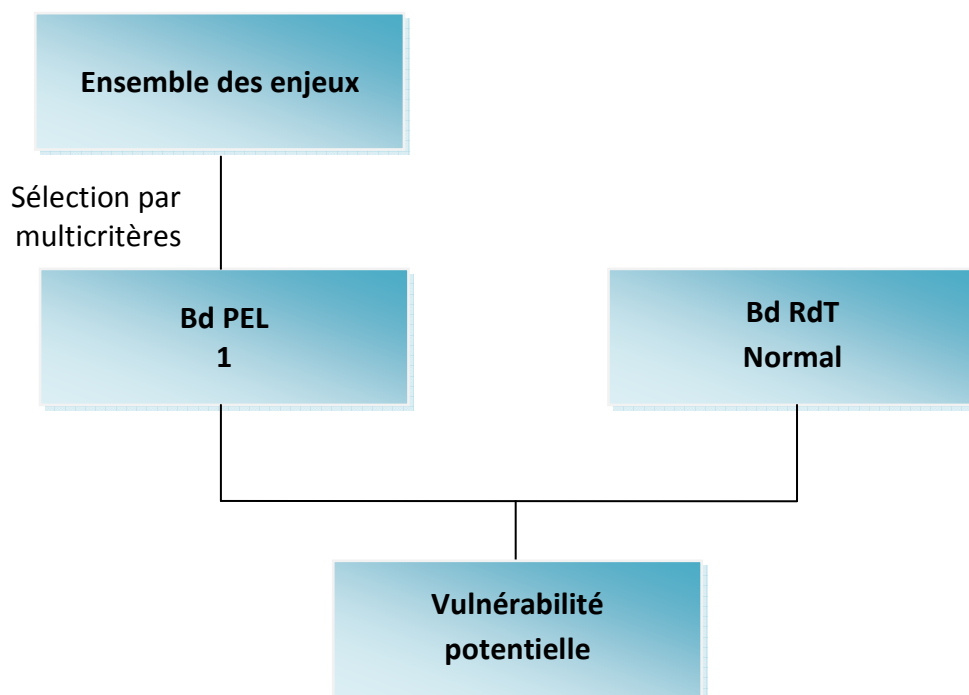
Le principe de l'étude va être de mettre en relation trois cartes obtenues par S.I.G.

Note : Dans les schémas qui suivent, la base de donnée du réseau de transports sera nommée Bd RdT, celle des principaux enjeux localisés Bd PEL, et celle des inondations Bd Inond.

Préalablement, des bâtiments à fort enjeux seront classifiés par le programme multicritère. Différents critères seront renseignés pour chaque bâtiment, et un classement déterminera les enjeux prioritaires.

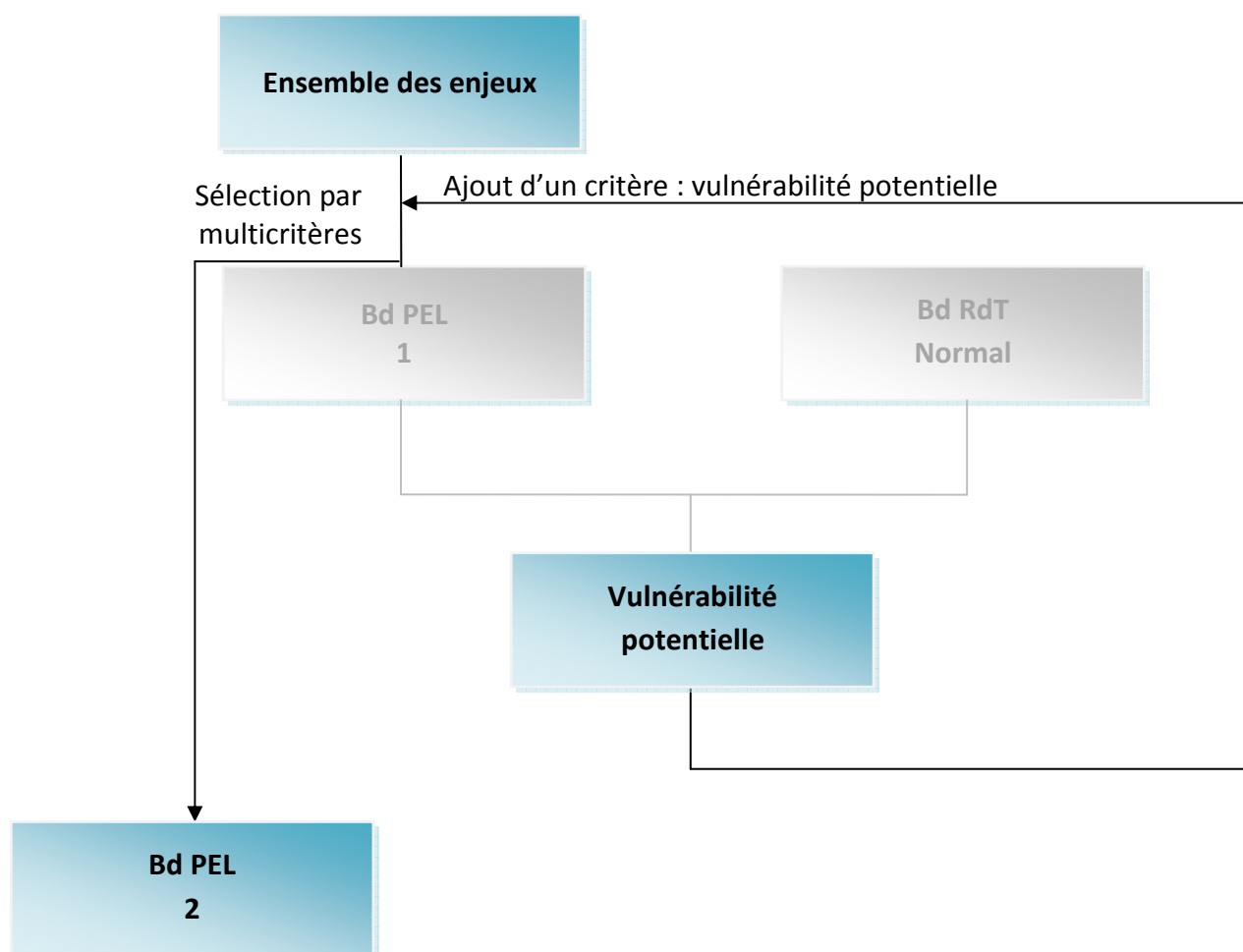
Ainsi, grâce au multicritère, une première base des enjeux sera établie (Bd PEL 1). Elle y figurera les enjeux à secourir en indiquant l'importance de l'enjeu, obtenu par le multicritère.

Ensuite, dans un premier temps, la carte du réseau de transport en période normale (Bd RdT Normal) va nous permettre de déterminer les itinéraires pouvant être emprunté par les services de secours pour se rendre aux enjeux. Nous pourrons ainsi obtenir une première caractéristique de l'accessibilité en temps normal attribuée à chaque enjeu. Cette caractéristique représente l'expression d'une vulnérabilité, la vulnérabilité potentielle. Plus un enjeu est difficile d'accès, plus sa vulnérabilité potentielle est forte.



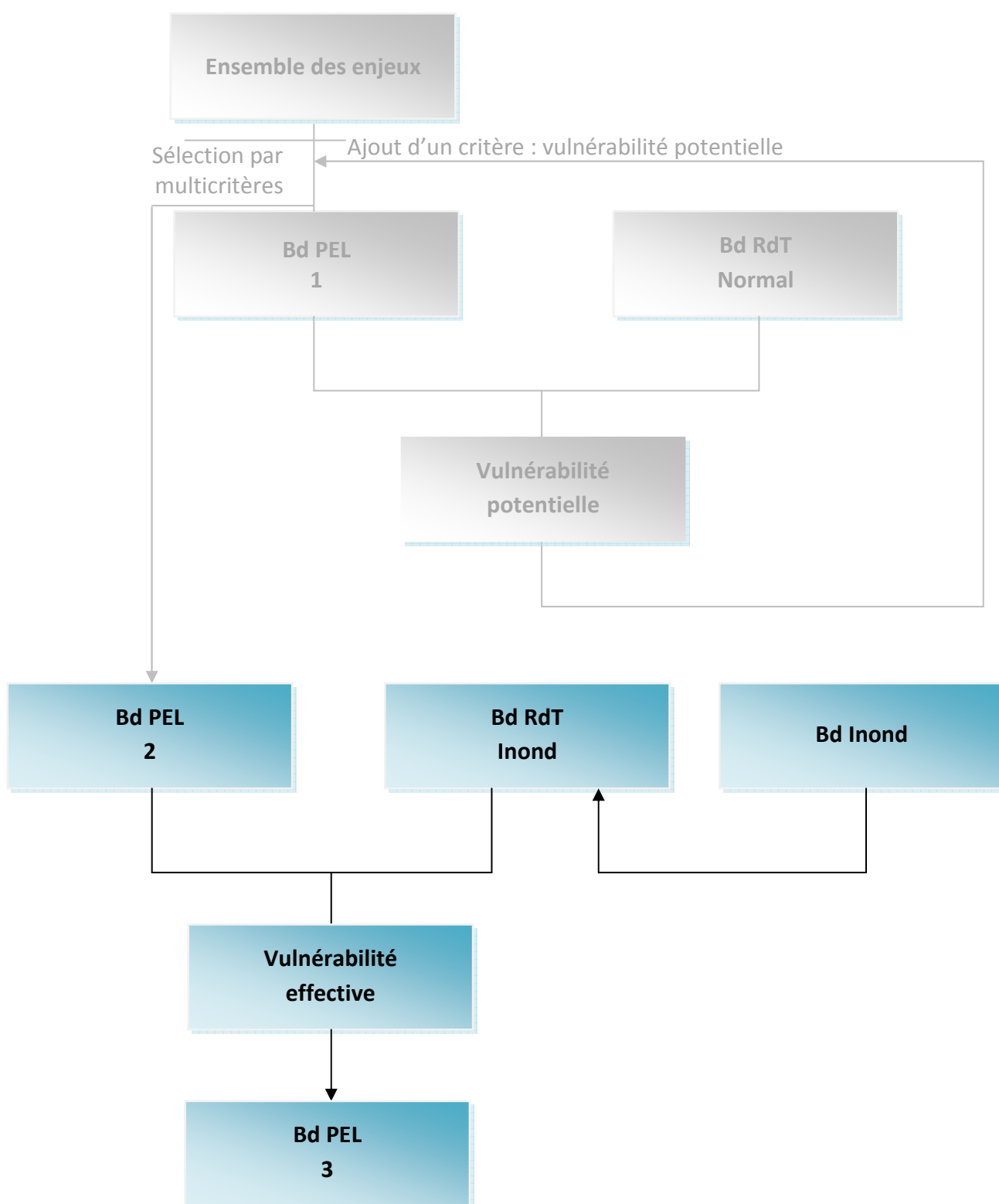
Cette caractéristique de l'accessibilité donnera lieu à un nouveau classement : une nouvelle caractéristique sera ajoutée au multicritère, correspondant au temps d'accès de chaque bâtiment. Ainsi une mauvaise accessibilité renforcera la priorité du bâtiment.

Nous obtiendront une nouvelle base des enjeux (Bd PEL 2).



Enfin, la base de données des inondations (Bd Inond) va nous permettre de repérer, selon l'importance de la crue, les zones submergées du réseau routier, ce qui nous donnera une seconde base de données du réseau routier en période d'inondations (Bd RdT Inond).

Cette base de données permettra alors de déterminer la vulnérabilité effective, c'est-à-dire la vulnérabilité en termes d'accessibilité en période d'inondations sur les enjeux, et alors de classer, selon l'inondation souhaitée, les enjeux (Bd PEL 3).



2. L'exploitation des résultats

Les résultats seront présentés par type de crue.

Ainsi, pour chacune de celles étudiées, une carte de l'inondation obtenue impactant sur le réseau routier sera présentée.

Par la suite, un calcul sera effectué permettant de connaître les temps d'accessibilité pour accéder aux enjeux, ainsi que les différences observées avec les conditions normales.

Un nouveau classement sera alors effectué en y insérant les nouveau temps d'accessibilité obtenus.

Le classement pourrait alors se voir changé si l'inondation impacte énormément sur l'accessibilité de l'enjeu.

Les raisons des résultats obtenues seront présentées, afin de comprendre comment les temps d'accessibilité interagissent avec les différentes modélisations des inondations.

Enfin, un regard critique sera apporté aux résultats, en essayant d'établir les raisons de leurs obtentions, et les attentes qu'ils suggèrent.

IV) Présentation et limites des bases de données

1. La base de données des principaux enjeux localisés

Afin de connaître les enjeux du territoire, nous avons à notre disposition deux bases de données utiles. La première regroupe les équipements de Tour(s)plus, à partir de la BD Topo 97 de l'IGN ; la seconde l'ensemble du bâti de cette même agglomération à partir de cette même base de donnée source. Les données ne seront pas les plus récentes, mais les équipements ont peu changé en 10 ans, et les données non fournis dans ces bases, telles la population ou le nombre d'étages des bâtiments, seront établies par la recherche sur le terrain, donc à jour.

a. La base de données des équipements

Cette base recense l'ensemble des équipements présents sur Tour(s)plus. Elle provient de la BD topo 97 de l'IGN. Il y est inventorié des bâtiments publics ou privés, tels les lieux administratifs (mairies, préfecture...), de sécurité (police, gendarmerie, pompiers...), d'éducation (écoles, enseignements supérieurs...), de loisirs (stade, aérodrome, campings...), commerciaux (centre commercial...), de santé (hôpitaux...), industriels (usines, carrières), culturels (musés, monuments historiques...), etc.

Le recensement de ces équipements est de 580 établissements. Ce nombre est bien trop important pour prendre en compte tous ces équipements dans la sélection par multicritère. En effet, il faudrait pour cela connaître toutes les caractéristiques de chaque bâtiment, dont certains ne sont disponible que par visionnage sur le terrain, comme par exemple le nombre d'étages du bâtiment. Ce travail serait possible avec une base de données optimale dont toutes les caractéristiques seraient recensées. Pour ce PFE, un tri d'entrée sera effectué avant même la classification par multicritère.

Nous allons donc effectuer une sélection : les équipements dans des zones d'aléa nul, faible ou moyen ne sont pas pris en compte, sauf quelques équipements stratégiques. Sur ceux restants, nous sélectionnons les plus pertinents. Le but est d'en sélectionner une dizaine. Après choix détaillé dans les annexes (p71), nous arrivons à dix équipements : 1 gendarmerie, 1 mairie, 4 écoles primaires et 1 enseignement supérieur, 1 préfecture et 2 hôpitaux. Ils seront tous détaillés dans la partie c.

Nous ne pouvons nous prendre en compte uniquement des équipements. Les habitations sont également à déterminer.

b. La base de données du bâti

Cette base recense l'ensemble du bâti présents sur Tour(s)plus. Elle provient de la BD topo 97 de l'IGN.

Le nombre de bâtiments sur l'agglomération Tour(s)plus est logiquement de grande importance, avec 43 753 bâtiments recensés sur la carte. Il faut donc effectuer de nouveau une sélection, dont les détails sont disponibles en annexe (p75). Nous arrivons à terme à deux zones d'habitation : une zone résidentielle à Tours Nord et un îlot d'habitations à Saint-Cyr. Ces enjeux seront détaillés dans la partie suivante.

Pour des raisons pratiques, nous assimilerons tous les bâtiments d'une même zone à un enjeu. Nous aurons donc ici deux enjeux. L'ensemble des bâtiments sera regroupé en une zone de caractéristiques identiques (même aléa, même distance aux services de secours, même types de bâtiments...). La population sera donc une somme de celle habitant chaque maison. Ce choix est en effet préféré pour des raisons pratiques afin de ne pas avoir une centaine d'enjeux à caractériser. En plus d'être complexe, le résultat final concernant la vulnérabilité serait similaire car ces zones sont groupées en un lieu assimilable et les bâtiments sont souvent de même type.

c. Caractéristiques des principaux enjeux localisés

Nous pouvons commencer par repérer les enjeux finaux sur carte¹⁹.

Sur celle-ci, y est également représenté les différents équipements ayant un rôle ou pouvant avoir un rôle à jouer en cas d'inondations.

Il y figure les pompiers, correspondant aux services de secours. Nous discernons plusieurs bâtiments dispersés sur l'agglomération. En réalité, pour ce PFE, seuls deux seront pris en compte pour évaluer l'accessibilité des enjeux à ceux-ci : le SDIS dont le centre est celui de Fondettes, et la caserne principale des pompiers : celle de Tours Centre.

Les bâtiments dénommés par « administration » correspondent aux Mairies des communes ainsi qu'à la Préfecture et à l'Hôtel de Département.

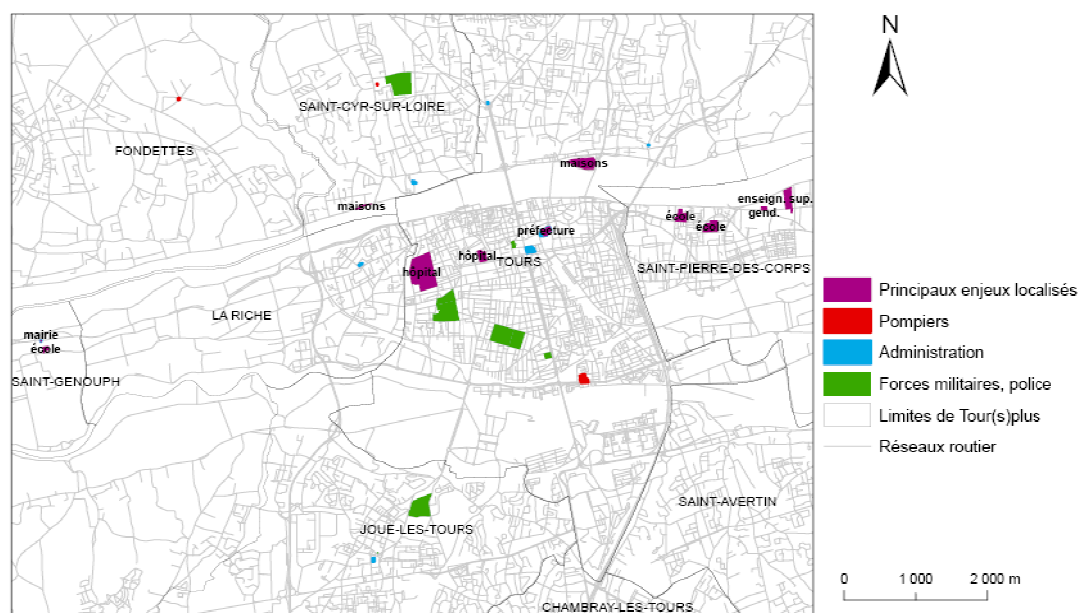
Enfin, les zones vertes correspondent aux enceintes militaires, aux gendarmeries, ainsi qu'aux hôtels de police. Celles-ci sont indiquées à titre indicatif.

Les enjeux apparaissent en violet sur cette carte. Ils sont donc au nombre de douze.

Note : A Saint-Pierre des Corps, seul un nom « école » apparaît sur les cartes (celle la plus à l'ouest). En réalité il y a là deux écoles. En cas de trop grande proximité entre deux entités dont on souhaite qu'il apparaisse le nom, le logiciel ArcMap n'en affiche qu'un. Il faut donc considérer ici deux enjeux.

¹⁹ Les différentes carte effectuées sur SIG et présentées dans ce rapport sont disponibles sur le CD fournit avec ce dernier.

Principaux enjeux localisés et équipements stratégiques en cas d'inondations



Nous pouvons dès à présent porter un regard d'analyse sur ces enjeux afin de prévoir les possibles classements que nous obtiendrons. De cette étude sur le terrain, les caractéristiques propres à chaque enjeu vont être attribuées et expliquées.

D'ouest en est, nous trouvons :

- La mairie de Saint-Genouph :

L'accueil de la Mairie se fait au 1^{er} étage, donnant sur la rue du Bourg, longue voie surélevée positionnée sur la digue sud de la Loire. Le rez-de-chaussée donne sur une cour, en contrebas. La population est d'environ 10 personnes, en considérant les employés, éventuellement les conseillers municipaux et les quelques visiteurs.



Ce bâtiment possède une certaine vulnérabilité en termes d'accessibilité, du fait de son emplacement périphérique. Il pourrait donc passer en priorité dans les enjeux. Pourtant, sa disposition près de la digue, et notamment son étage au même niveau que celle-ci le protégerait d'une éventuelle rupture de digue, à condition que cela n'arrive pas à cet endroit. Le rez-de-chaussée

se retrouverait par contre dans une situation périlleuse, mais étant peu utilisé, et l'étage étant un bon refuge, les personnes dans ce bâtiment pourrait supporter une inondation sans trop de mal.

Au final, considérant le peu de population, et en relativisant l'importance de cette Mairie, elle devrait trouver un classement, dans la sélection des enjeux, probablement dans le dernier tiers.

Les performances de cette Mairie attribuées sont donc les suivant :

Catégorie d'équipement	Nom	Ville d'implantation	Adresse	Aléa	Etages	Population	Autonomie des personnes	Risques non humains	Importance de la population
Mairie		Saint-Genouph	23 rue du Bourg	3	1	10	2	1	2

L'aléa, le nombre d'étage et la population sont donnés d'après les renseignements objectifs. Concernant l'autonomie des personnes, le chiffre 2 correspond à une population à majorité adulte. Les risques non humains visent ici les documents d'archive, les actes en tout genre, les ordinateurs contenant d'éventuelles données, ou encore tout autre renseignement craignant une inondation, et dont l'importance, bien que matériel, pourrait avoir un impact sur les informations historiques et administratives de la ville. Le chiffre 1 est donc attribué. La Mairie ayant un rôle important pour une ville, et relatif dans la gestion de crise, son importance est chiffrée par un 2, même si pour une petite commune cette importance paraît forte.

- L'école de Saint-Genouph :

Ce site est composé de trois parties : une école primaire, une garderie et une crèche, accueillant 120 élèves (population de 130 avec le personnel), le tout dans le centre bourg de Saint-Genouph.

Cette commune se situe dans le lit majeur de la Loire. Seule la digue protège la ville d'une inondation. Il a été remarqué en allant sur le terrain que le niveau moyen de la commune était au même niveau que la Loire. C'est pour cette raison, qu'en imaginant une rupture de digue à cet endroit, le site est paru très vulnérable. Ce sentiment se renforce en sachant que chacun des trois bâtiments est constitué d'un rez-de-chaussée, sans aucun étage.



L'école primaire de Saint-Genouph



La maternelle



La crèche

Pour ces raisons, cet enjeu est pressenti comme devant être dans les quatre premiers. Voici les performances attribuées :

Catégorie d'équipement	Nom	Ville d'implantation	Adresse	Aléa	Etages	Population	Autonomie des personnes	Risques non humains	Importance de la population
Ecole		Saint-Genouph	14 rue Auberdière	3	0	130	4	0	0

La population étant de majorité enfantine, l'autonomie de celle-ci a été notée par un 4. Le bâtiment ne possédant pas de données importantes ou de matières risquant de provoquer des dommages supplémentaires, les risques non humains sont considérés comme négligeables, et ainsi chiffrés par un 0. Bien que la population soit des enfants, leur importance n'est pas considérée ici comme fondamentale, aussi bien dans le dispositif de planification des secours que dans l'intervention. Aussi, le chiffre 0 qualifie cette donnée.

- Les habitations à Saint-Cyr :



Cet îlot de maisons se situe à quelques mètres au nord de la Loire. Une allée, la place des Terreaux, en contrebas, sépare les maisons du fleuve, et une voie de l'autre côté, le quai des Maisons Blanches, permet l'accès aux entrées des bâtisses. Il s'agit là de maisons de taille assez importantes, côte à côte pour la plus part.

Concernant la population, nous n'avons aucunes données possibles pour recenser le nombre d'habitants. Nous évoluerons donc par suppositions et estimations. Cet aspect est une des limites de la précision de l'étude.

Il y a là près de 17 maisons d'après les images disponibles sur Google Earth. Si l'on estime à 4 le nombre de personnes par maisons (maisons types familiales), cela mène à 68 la population vivant dans cette zone.



Ces habitations paraissent vulnérables aux inondations au vu de leur situation presque frontalière à la Loire. Il est difficile d'imaginer leur vulnérabilité car, d'une part, ces habitations sont très proche

du fleuve (l'aléa est de 4), d'autre part, elles se positionnent en contrebas du coteau nord de la Loire, assez haut pour être à l'abri des inondations. Il semblerait que l'aléa 4 mette cet enjeu à un classement situé dans la première moitié.

Des performances ont été attribuées :

Catégorie d'équipement	Nom	Ville d'implantation	Adresse	Aléa	Etages	Population	Autonomie des personnes	Risques non humains	Importance de la population
Habitations Saint-Cyr		Saint-Cyr	Quai des Maisons Blanches	4	1	68	3	0	0

Les habitations regroupent à priori des familles, entre adultes et enfants, dont leur autonomie est notée par un 3. N'ayant aucune distinction particulière, le risque non humain, ainsi que leur importance est de 0.

- L'hôpital Bretonneau :

L'hôpital Bretonneau fait partie du réseau des Hôpitaux de Tours. Les chiffres sur Internet sont donnés pour l'ensemble du CHU de Tours. Nous ne disposons par bâtiment, que du nombre de lits et places. Ainsi, pour déterminer le nombre de personnes dans les bâtiments, un calcul a été effectué :

Au total, le CHU de Tours emploie (chiffre de 2005) environ 7300 personnes. Le nombre de lit et places sur tous les hôpitaux est de 2000. Le nombre de personnel par lit et place est ainsi d'environ 0,27. Nous pouvons arrondir ce chiffre à 0,5. L'arrondi est supérieur. Cette marge correspond aux patients non internés (urgences, visites...).

L'hôpital Bretonneau dispose de 757 lits et places. Ainsi, nous estimons à 1150 environ la population dans cet établissement.

Il est situé dans le centre de Tours, à priori sans risque majeur pour une inondation moyenne. Cependant, ce quartier fut déjà inondé. En cas de crue exceptionnelle, il serait donc un point sensible, part son rôle déterminant en cas de catastrophe, mais également part la vulnérabilité des patients. Il est à noter qu'en cas d'inondation prévue, l'évacuation des malades se fait par anticipation, par des ambulances privées sélectionnées à l'avance.

De plus, il contient de nombreuses matières dangereuses. Il figure dans la base de la DRIRE des Installations Classées, mais n'est ni classé IPPC, ni SEVESO.

Les performances de cet établissement sont les suivant :

Catégorie d'équipement	Nom	Ville d'implantation	Adresse	Aléa	Etages	Population	Autonomie des personnes	Risques non humains	Importance de la population
Hôpital	Bretonneau	Tours	2 boulevard Tonnellé	1	3	1150	5	2	1

La population d'un hôpital est parmi les moins autonomes et la plus fragile. Le chiffre 5, est donc attribué à ce type de bâtiment. Les risques sont également à considérer. Le matériel électrique dépendant de l'électricité qui pourrait faire défaut en cas de crue, ou encore les matières dangereuses sensibles à l'eau, font de l'hôpital un lieu à risque moyen. Son risque est ainsi classé de 2. En cas de perturbation, l'importance d'un l'hôpital est certain. Pour son rôle, le chiffre 1 est attribué.

- L'hôpital Clocheville :

L'hôpital Clocheville possède les mêmes caractéristiques que Bretonneau, bien qu'en importance réduite. Par le même principe que précédemment, puisque l'hôpital Clocheville dispose de 197 lits et places, nous estimons à près de 300 la population de l'établissement. Les performances sont identiques que le précédant et pour les mêmes raisons, hormis la population.



Catégorie d'équipement	Nom	Ville d'implantation	Adresse	Aléa	Etages	Population	Autonomie des personnes	Risques non humains	Importance de la population
Hôpital	Clocheville	Tours	49 boulevard Béranger	1	3	300	5	2	1

- La préfecture d'Indre et Loire:

La Préfecture est le « cerveau » des opérations en cas de crue. C'est ici que sont mis en place les plans de secours. Son importance capitale pourrait la mettre en début de classement des enjeux. Pourtant, sa situation proche du centre historique de Tours, espace jamais encore inondé, la protège en matière d'accessibilité en cas d'inondation. Bien que cet enjeu soit majeur en cas de crise, son classement sera pondéré par son risque faible et sa population moyenne estimé à 70.

Ses performances sont les suivantes :

Catégorie d'équipement	Nom	Ville d'implantation	Adresse	Aléa	Etages	Population	Autonomie des personnes	Risques non humains	Importance de la population
Préfecture		Tours	15 rue Bernard Palissy (accueil)	1	3	70	2	1	2

Pour les raisons similaires à la Mairie de Saint-Génouph, l'autonomie et l'importance de la population est de 2, et les risques de 1.

- Les maisons de Tours Nord :

Cette zone est composée d'environ soixante-dix maisons, de type plutôt ouvrières, mais ayant presque toutes au moins un étage. En estimant à 3 le nombre d'habitants par ménage, nous considérons qu'il vit ici 210 personnes.

Ce qui marque le plus, est l'impression de proximité et de manque de protection entre ces maisons et la Loire. L'aléa étant de 4 et la population assez importante, il semblerait que cet enjeu trouve un classement initial assez haut. Concernant la vulnérabilité en matière d'accessibilité en cas d'inondation, à priori, ces maisons devraient se retrouver isolées du reste du coteau nord où elles se trouvent.



Les performances sont de même nature que les habitations précédentes.

Catégorie d'équipement	Nom	Ville d'implantation	Adresse	Aléa	Etages	Population	Autonomie des personnes	Risques non humains	Importance de la population
Habitations Tours		Tours	Quai de la Loire	4	1	210	3	0	0

- Le groupe scolaire Marceau :



Ce groupe se compose de deux bâtiments. Le premier, de taille moyenne est tout en rez-de-chaussée. Le second (*photo*), est composé d'une partie en rez-de-chaussée et d'une autre avec un étage. Cet étage semble suffisamment vaste pour accueillir toute la population en cas d'inondation. Cette population est 140 élèves, répartis en 5 classes. Nous compterons un total de 150 personnes, en comprenant le personnel.

Située à Saint-Pierre des Corps, ville 100% inondable, il est présumé que la vulnérabilité de l'école en cas d'inondation soit forte, malgré le risque moyen qu'encourent les élèves compte tenu d'un étage de refuge.

Les performances sont similaires à l'école précédant :

Catégorie d'équipement	Nom	Ville d'implantation	Adresse	Aléa	Etages	Population	Autonomie des personnes	Risques non humains	Importance de la population
Ecole	Marceau	Saint-Pierre-des-Corps	24 rue Hoche	3	1	150	4	0	0

- Le groupe scolaire Paul-Louis Courier :

Situé à côté du précédent et comme celui-ci, ce groupe scolaire se compose de deux parties conjointes dont l'un est en rez-de-chaussée, et l'autre avec un étage. Cet étage semble assez vaste pour offrir un éventuel secours en cas d'inondation subite. Le nombre d'élève est 200.



Les performances sont identiques à précédemment :

Catégorie d'équipement	Nom	Ville d'implantation	Adresse	Aléa	Etages	Population	Autonomie des personnes	Risques non humains	Importance de la population
Ecole	Paul-Louis-Courier	Saint-Pierre-des-Corps	24 rue Hoche	3	1	200	4	0	0

- Le collège Jacques Decour :

Ce collège, proche des deux précédents, se compose principalement de deux bâtiments séparés. L'un, à droite, est relativement vétuste. Il comporte cependant un étage. L'autre, à gauche, est moderne et comporte deux étages. La possibilité de refuge est donc plutôt bonne. Il y étudie là 14 classes. Si l'on compte à 30 le nombre d'élèves dans chaque classe, cela fait 420 élèves. En additionnant à cette population étudiante le nombre possible d'enseignants et de personnels, nous estimons à 500 le nombre total de personnes pour cet enjeu.



Les performances sont identiques à précédemment :

Catégorie d'équipement	Nom	Ville d'implantation	Adresse	Aléa	Etages	Population	Autonomie des personnes	Risques non humains	Importance de la population
Collège	Jacques Decour	Saint-Pierre-des-Corps	92 rue de l'Eridence	3	2	500	4	0	0

- La Caserne du Comandant Morel :

Ce bâtiment de la gendarmerie occupe la brigade fluviale. Il se compose de trois étages. Il semblerait que ces étages soient dédiés aux habitations. On estime 30 les personnes occupant le bâtiment.



Le classement de cette caserne sera probablement en bas de tableau. En effet, malgré un aléa fort, le nombre d'effectif et l'autonomie de cette population, surtout une brigade fluviale, nous pouvons facilement imaginer que cet enjeu ne sera pas prioritaire en cas de crue.

Les performances données sont ainsi les suivantes :

Catégorie d'équipement	Nom	Ville d'implantation	Adresse	Aléa	Etages	Population	Autonomie des personnes	Risques non humains	Importance de la population
Gendarmerie	Caserne du Comandant Morel	Saint-Pierre-des-Corps	4 rue Marcel Cachin	3	3	30	1	0	1

- Le C.F.A. du bâtiment :

Ce site est dédié à la formation d'apprentis du bâtiment. Un édifice d'architecture classique comporte un étage, un autre plus moderne comporte plusieurs blocs dont certains ont au moins un étage. La population, estimée à 350 étudiants, peut se réfugier en cas de crue.



Les performances attribuées sont les suivantes :

Catégorie d'équipement	Nom	Ville d'implantation	Adresse	Aléa	Etages	Population	Autonomie des personnes	Risques non humains	Importance de la population
Enseignement supérieur	CFA	Saint-Pierre-des-Corps	Rue Marcel Cachin	3	1	350	2	1	0

Le risque non humain de 1 correspond aux problèmes environnementaux possibles, en cas de crue, lié au déversement de matériaux polluants utilisés pour la construction des bâtiments

(goudron, béton...). L'autonomie de ce bâtiment est comparable à un bâtiment composé exclusivement d'adulte, ce qui correspond à une valeur de 2.

Cette étude des enjeux a été faite dans le but de nourrir le multicritère. Un pressentiment de la classification est pourtant possible en considérant les enjeux face au risque et leur vulnérabilité :

- | | |
|-----------------------------------|---------------------------|
| 1.Ecole primaire de Saint-Genouph | 5.Habitations à Saint-Cyr |
| 2.Habitations à Tours | 6.CFA |
| 3.Ecole Courier | 6.Hôpital Clocheville |
| 3.Ecole Marceau | 7.Mairie |
| 4.Collège | 8.Préfecture |
| 4.Hôpital Bretonneau | 9.Gendarmerie |

Suite à l'étude de cette base de données des enjeux, nous allons maintenant nous intéresser à celle du réseau routier.

2. La base de données du réseau routier

Comme précédemment, cette base de données est issue de la BD Topo 97 de l'IGN. Différentes sources étaient disponibles pour cette base. Cependant, le choix s'est fait sur les différentes données disponibles. Le plus déterminant des critères était de posséder l'altitude de la voirie. En effet, sans altitude, c'est-à-dire en 2D, il aurait été impossible de déterminer par la suite les arcs coupés par les inondations en fonction de la hauteur d'eau. Il est à noter que c'est réellement une chance d'avoir eu à disposition au moins une base de données en 3D. Sans cela, le travail aurait été beaucoup plus imprécis et difficile.

Ainsi, deux bases de données étaient éligibles. L'autre critère important était de posséder une information concernant le type de voie pour pouvoir déterminer les vitesses de parcours sur ces arcs et donc calculer l'accessibilité. Cette information, bien que non fondamentale, pouvait permettre de gagner du temps. En effet, sans cette information, il aurait fallu sélectionner chaque route « à la main », et connaissant l'état du réseau, attribuer une vitesse. En plus d'une sélection longue, la connaissance de la vitesse serait passée par une visite sur place. Ainsi, connaître le nombre de voies et l'importance de l'axe a permis de gagner un certain temps pour attribuer une vitesse. La base de données de l'IGN possédait ces deux informations.

Afin de pouvoir calculer l'accessibilité, comme indiqué dans 4. du II) de cette même partie, il a fallu effectuer quelques manipulations afin d'obtenir les longueurs des arcs et les vitesses sur ceux-ci. Ces deux dernières données nous ont permis de déterminer le temps en seconde à effectuer pour parcourir le trajet sur l'arc. Ces manipulations sont disponibles dans les annexes (p70).

3. La base de données des inondations

a. Complexité des données et limites de la base

Cette base de données est la plus difficile à obtenir. En effet, pour une base de données utilisable, il nécessiterait d'avoir toutes les données d'hauteur d'inondation, en fonction du type de crue, en considérant le temps écoulé entre l'arrivée de la crue et la fin de celle-ci, tout en prenant en compte les paramètres les plus complexes tels l'infiltration, l'écoulement des eaux, etc.

De plus, pour obtenir une bonne modélisation d'une inondation, il faudrait prendre en compte les digues et leur état : hauteur, fragilité, imperméabilité, etc.

Cette carte « parfaite » de modélisation d'inondation, d'une part, n'existe pas, d'autre part, s'il en existe une se rapprochant des conditions réelles, serait difficilement à disposition.

Pour tenter d'obtenir des scénarios d'inondation, nous avons été à la Préfecture, détentrice d'un Plan de Secours Spécialisé sur les inondations. Malheureusement, après visite au SIDPC, il s'est avéré que ce document, d'une part, n'est pas divulgable au public, et que d'autre part il est entièrement à refaire car les informations concernant les zones touchées y sont relativement désuètes. Aucune carte officielle n'a donc pu être trouvée.

Sur le site internet de la DIREN, il existe une cartographie de l'atlas des zones inondables ; ces informations sont malencontreusement très vagues. En effet, d'une part, les zones sont plutôt grossières, d'autre part, couper les routes se trouvant sur ces zones n'aurait pas été judicieux. Il existe des axes routiers en hauteur, soit car situés sur une digue, soit sur un pont, soit sur des pilonnes. Cette méthode ne pouvait donc pas être choisie.

La méthode la plus pertinente était donc de trouver une hauteur d'eau correspondant à un type d'inondation (décennale, centennale, exceptionnelle...) et de « supprimer » les routes se trouvant sous cette hauteur d'eau.

Comme il a précisé, cette carte est la plus difficile à réaliser d'un point de vue de l'exactitude des données. Ainsi, les informations de cette carte seront donc à relativiser. En effet, d'une part, nous ne prenons pas en compte les débits lors des inondations, or cette information est importante car plus le débit est important, plus les écoulements dans le lit de la rivière sont difficiles et provoquent ainsi un débordement ; mais comment modéliser une inondation par un débit, et les zones débordées ? D'autre part, concernant les digues, nous avons précisé que nous étudierons l'inondation en cas de rupture de digue. Pour simplifier ainsi la modélisation, il n'a pas été considéré qu'il existe de digue, comme si l'eau débordante se rependait directement dans le lit majeur.

De même, une réelle inondation possède une dynamique : elle arrive de l'amont et se répand petit à petit dans l'aval. Etant donné que pour modéliser une crue dynamique il nécessiterait d'avoir des données de propagation de crue complexes, nous limiterons cette modélisation à une crue statique.

Pour synthétiser, cette modélisation se passe de la manière suivante : l'eau du lit de la rivière monte progressivement, puis se répand dans son lit majeur, sans rencontrer de digue. Là, des

tronçons routiers se retrouvent submergés. A partir d'une certaine hauteur, ceux-ci sont impraticables pour le public, mais empruntable pour les voitures spécialisées des services de secours. A partir d'une autre hauteur, ils sont impraticables pour n'importe quel véhicule routier. Alors, seuls les canots de sauvetage sont utilisés.

Une autre limite est à prévoir. En effet, s'il existe une zone naturellement basse, mais environnée par des hauteurs naturels la protégeant en temps normal d'une inondation, cette zone, à priori hors d'eau va, dans ce modèle, se retrouver inondé. Ainsi, ce modèle ne prenant pas en compte la propagation de la rivière vers les terres, des cuvettes pourront se retrouver inondées, ce qui ne serait pas exact en situation réelle.

b. Les hauteurs d'inondations

Il convient dès à présent de déterminer à partir de quelles hauteurs d'eau nous estimons avoir une inondation, et de quel type.

Pour obtenir cette information, il existe à la DIREN Centre, un service (Service de Prévision des crues Loire - Cher – Indre) publiant sur Internet un site d'information²⁰ du niveau de la Loire, associé à un code couleur qui varie de vert à rouge en fonction de la gravité du niveau d'eau atteint par le fleuve. Les informations indiquant les valeurs permettant de passer d'un stade à l'autre sont disponibles sur Internet.

Concernant le tronçon de la Loire Tourangelle, voici ces informations :

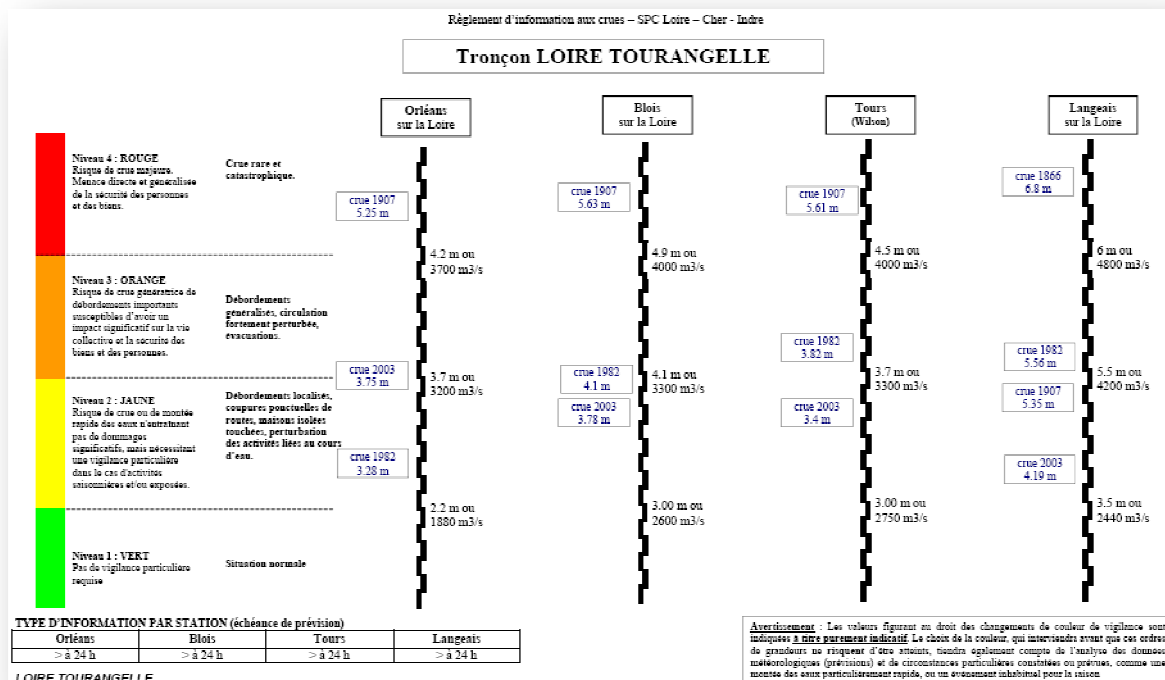


Figure 5 : Hauteurs et débits locaux des différents niveaux d'alerte de vigilance pour le tronçon de la Loire Tourangelle

Source : SPC Loire-Cher-Indre, DIREN Centre

A Tours, le niveau de référence est le pont Wilson. Les informations de hauteur ou de débit répertoriés sont affichées aux échelles de crues, c'est-à-dire une valeur locale de référence,

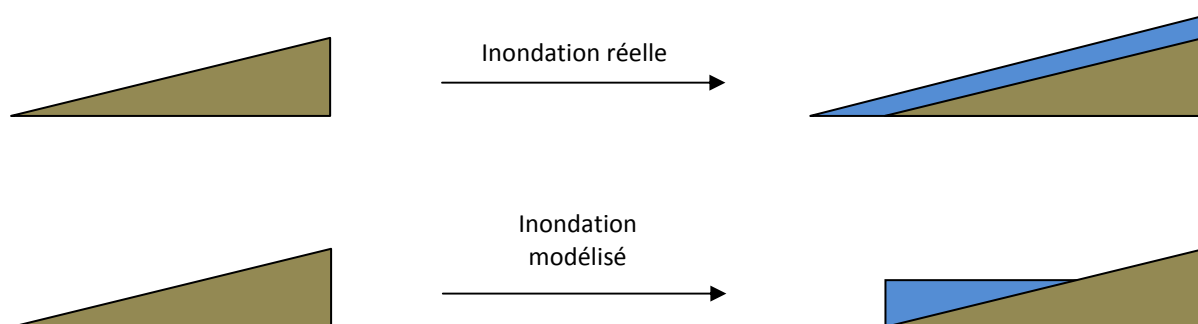
²⁰ PDF disponible à l'adresse : www.centre.ecologie.gouv.fr/RIC_FINAL_18-09.pdf

différente pour chaque station d'enregistrement. Concernant Tours, et donc le Pont Wilson, cette hauteur zéro est située à 44,6 m d'altitude.

Afin de répertorier les crues, nous pouvons nous appuyer sur ce document. Trois hauteurs sont donc déterminantes : 3 m, 3,7 m, 4,5 m. Cependant, il est intéressant de noter que, d'après ces données, en dessous de 3 m la situation est dite normale alors qu'en de nombreuses reprises, des inondations ont affecté Tours, et les hauteurs d'eau indiquées²¹ correspondaient à des valeurs inférieures à 3 m. Nous ajouterons donc à ces trois valeurs une hauteur plus faible, celle de 2 m.

L'altitude de 44,6 m citée ci-dessus sera prise en référence sur toute l'agglomération de Tour(s)plus. C'est-à-dire que l'on va supposer que l'altitude moyenne de la zone d'étude est de 44,6 m. En réalité, il y a une légère différence de niveau entre l'amont et l'aval de la rivière : selon l'écoulement des eaux, Saint-Pierre des-Corps est légèrement surélevé et Saint-Genouph, abaissé. Ainsi, comme l'inondation modélisée est horizontale, Saint-Pierre-des-Corps sera sous-estimé dans sa submersion, et saint-Genouph, surestimé.

Les schémas suivant illustrent grossièrement cette situation :



c. Utilisation du réseau de transport pour modéliser les inondations

La base de données « inondations » n'en sera en réalité pas une à part entière. Nous allons nous aider de la base de données du réseau de transport pour modéliser les inondations. Au lieu de créer des zones d'une certaine hauteur d'eau et de couper tout le réseau dans ces celles-ci, nous allons sélectionner les arcs routiers dont la hauteur d'eau est inférieur au niveau de l'inondation, et leur affecter une certaine vitesse.

En effet, si le réseau devient impraticable pour les civils, notre outil s'utilisant à des fins de secours, ce réseau sera tout de même empruntable par les services de sauvetage. Comme nous l'avons vu dans le III) 3. de la partie 2, le SDIS 37 possède des engins de secours allant du camion citerne au canot de sauvetage. Même si le réseau est impraticable par voie terrestre, il le sera par voie maritime. Ainsi, en période d'inondation, selon la hauteur de submersion de la voirie, une vitesse spécifique différente sera rentrée dans la base de données. Un nouveau calcul permettra de déterminer le nouveau coût en temps pour ce réseau inondé. Ainsi, en sélectionnant de nouveau le chemin minimum, celui-ci sera choisi entre, soit effectuer un détour et rester sur voie sèche, soit

²¹ Cf. page 13 de ce rapport

garder un chemin similaire en empruntant les autres véhicules disponibles plus lent, selon l'itinéraire le plus court. Ainsi, aucun chemin ne « disparaît » pas du graphe en période d'inondation, mais seules les vitesses, et donc les temps, varient. Le chemin optimum sera donc réellement le plus court au niveau temps. Concernant ces nouvelles vitesses, une annexe est disponible (p71).

Soulignons que pour simplifier le graphe, les embarcations suivront le réseau routier pour se rendre aux enjeux. En réalité, la navigation ne tiendrait pas compte du réseau pour se déplacer, mais sinon cela voudrait dire que le graphe pour se rendre aux enjeux serait extrêmement développé : de n'importe quel point, on devrait atteindre n'importe quel autre point par un chemin droit. Pour simplifier, les embarcations « rouleront » sur le réseau routier.

La rencontre avec le SDIS 37, nous a permis de connaître les moyens à disposition pour les différents types d'interventions. Nous pouvons ainsi connaître le type de véhicule utilisé pour un sauvetage en cas de crue, suivant les hauteurs d'eau, notamment deux hauteurs utilisées dans le PFE :

- A moins de 30 cm d'eau, les véhicules classiques sont encore utilisables, mais à moindre vitesse (on estime qu'à partir de 30 cm une voiture commence à flotter).
- A partir de 30 cm d'eau, les routes sont coupées et les véhicules classiques ne sont plus empruntables. Le choix se porte alors sur les véhicules légers tout terrain (VLTT) et les camions citernes feux de forêt (CCFF).
- A partir de 50 cm (en réalité cela semble un peu plus), les véhicules lourds ne peuvent plus être utilisés. Au-delà, seules les embarcations le peuvent, type canot de sauvetage léger (CSL) ou embarcation de sauvetage (EMBS).

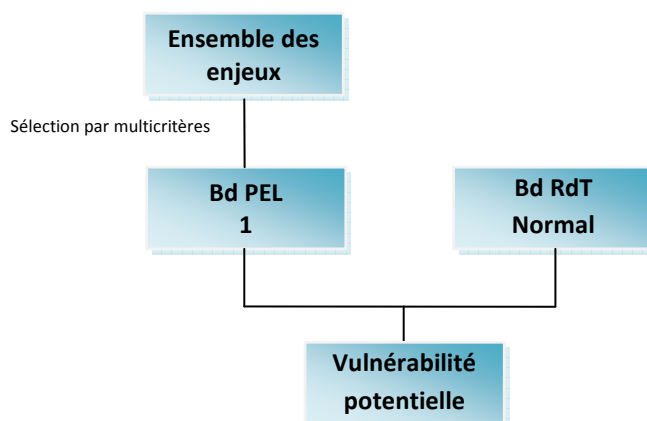
Les cartes des inondations, indiquant l'état du réseau routier suivant la hauteur d'eau inondée sont disponibles sur le CD fournit avec le rapport.

Nous pouvons à présent effectuer la modélisation permettant d'obtenir les résultats souhaités.

PARTIE 4. OBTENTION ET ANALYSE DES RESULTATS

I) Détermination de la vulnérabilité potentielle

Cette partie a pour objectif de déterminer la vulnérabilité potentielle, c'est-à-dire de caractériser les enjeux à partir de leur accessibilité en période normale.



Nous allons donc dans un premier temps déterminer une sélection des enjeux, permettant de les catégoriser par importance de leurs critères. Ainsi, selon ces derniers établis, voyons les enjeux les plus importants au vu de la priorité déterminée par les services de secours.

1. Etablissement du classement initial : Bd PEL 1

Les pondérations sont les suivantes :

Nous prenons d'abord en compte le risque encouru par les populations, ce qui s'exprime par l'aléa de la zone et le nombre d'étages :

- Aléa : pondération de 5
- Etage : pondération de 5

Ensuite viennent les critères dans l'ordre établi avec le concours du SDIS :

- Population : pondération de 4
- Fragilité : pondération de 3
- Risques non humains : pondération de 2
- Importance de la population : pondération de 1

Le résultat du classement est visible dans le tableau ci-contre :

Rang	Alternative
1	Habitations Tours
2	Ecole St Genouph
3	Ecole Courier
3	Collège
3	CFA
3	Hopital Bretonneau
4	Ecole Marceau
4	Habitations St Cyr
5	Hopital Clocheville
6	Mairie
7	Gendarmerie
8	Préfecture

Figure 6 : Classement des enjeux dans la Bd PEL 1

Classement réalisé par Electre III

Les enjeux les plus importants deviennent ceux dont le risque et la population sont les plus importants. Ainsi, les habitations de Tours sont

la population est de 220 et l'aléa de 4 deviennent le principal enjeu, suivi de l'école de Saint-Genouph, de risque important. Ce résultat est relativement comparable aux résultats attendus. Ceux-ci étaient :

- | | |
|-----------------------------------|---------------------------|
| 1.Ecole primaire de Saint-Genouph | 5.Habitations à Saint-Cyr |
| 2.Habitations à Tours | 6.CFA |
| 3.Ecole Courier | 6.Hôpital Clocheville |
| 3.Ecole Marceau | 7.Mairie |
| 4.Collège | 8.Préfecture |
| 4.Hôpital Bretonneau | 9.Gendarmerie |

Ce résultat est rassurant concernant l'étude des enjeux et l'établissement de la pondération du multicritère.

Le classement obtenu est maintenant à confronter avec les résultats de l'accessibilité qui permettront de déterminer la vulnérabilité potentielle.

2. Etablissement de la vulnérabilité potentielle

Le tableau ci-dessous a été obtenu en calculant le coût en seconde, converti en minutes, grâce au logiciel d'analyse des réseaux, GVSIG. Le temps visible correspond au parcours effectué entre le SDIS (en bleu) ou les pompiers (en rouge), jusqu'aux enjeux.

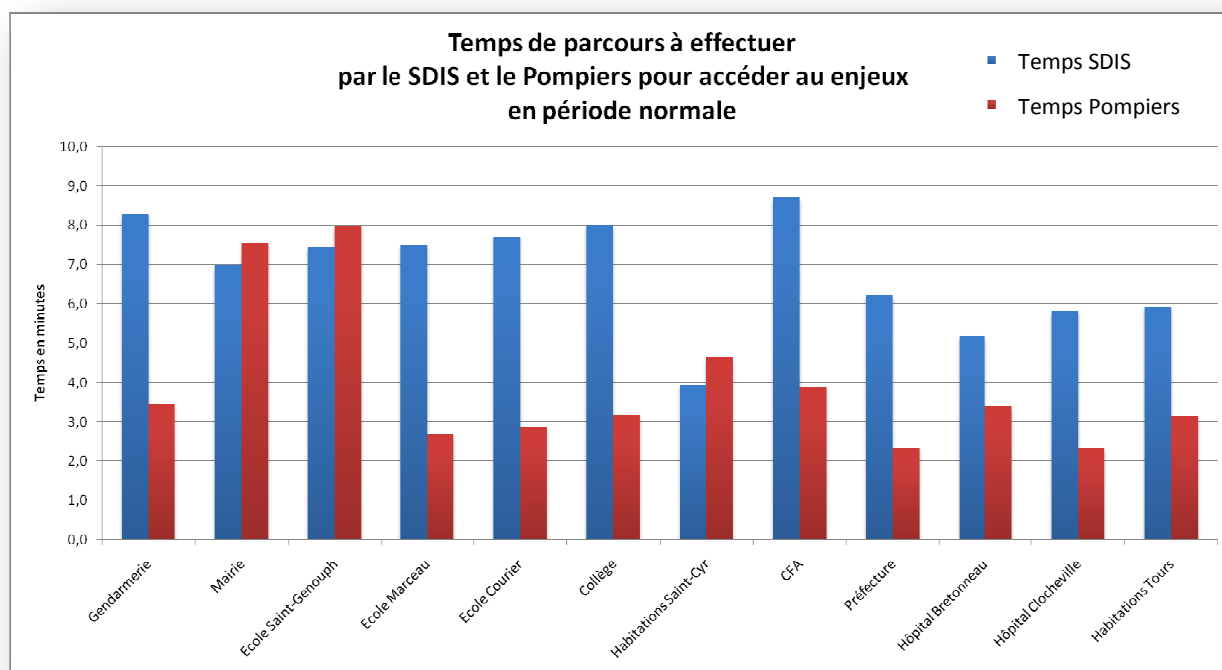


Figure 7 : Graphique établissant le temps de parcours à effectuer par le SDIS et les Pompiers pour accéder aux enjeux.

Calculs effectués par le logiciel GVSIG, depuis une base de données produite personnellement.

De manière générale, le SDIS à effectuer un temps de parcours plus long que les pompiers, sauf pour les deux enjeux de Saint-Genouph. En effet, le temps de parcours moyen du SDIS aux enjeux est de 6,8 minutes, alors que celui des pompiers est de 4 minutes.

Nous remarquons également que certains enjeux sont en moyenne plus vulnérables en termes d'accessibilité que d'autre. C'est ce point qui détermine la vulnérabilité potentielle. Ainsi, nous remarquons bien que certains enjeux sont plus difficiles d'accès en période normale, et donc souffrent d'une vulnérabilité plus forte que certains. Pour classer ces temps d'accès moyen, étudions le graphique suivant :

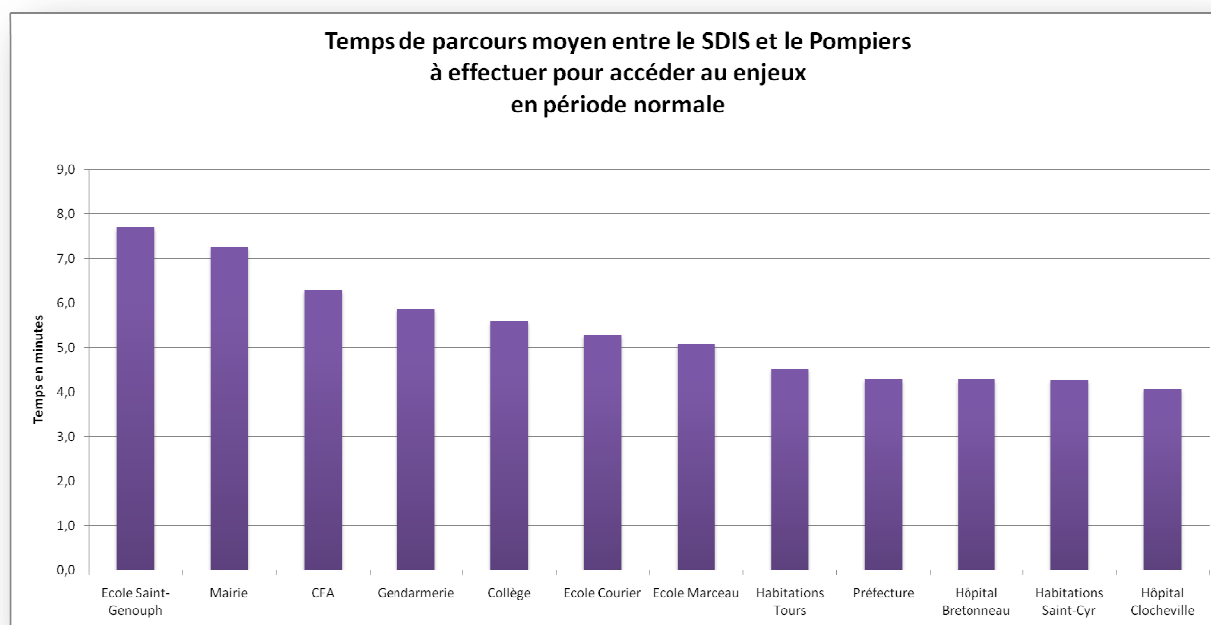


Figure 8 : Graphique établissant le temps de parcours moyen à effectuer entre les services de secours et les enjeux.

Calculs effectués par le logiciel GVSIG, depuis une base de données produite personnellement.

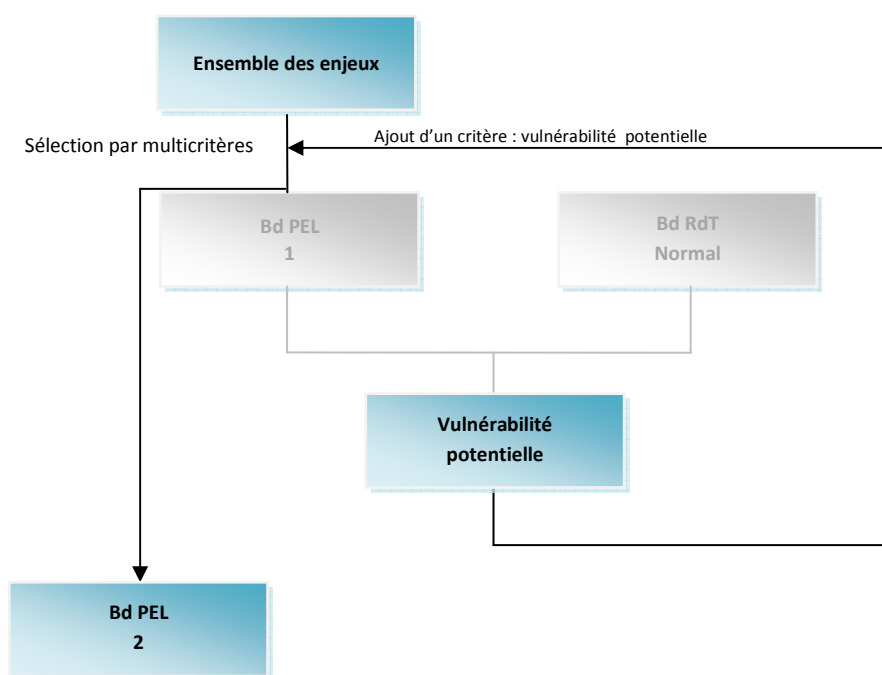
Il est logique de constater que les enjeux les plus périphériques (Mairie et école de Saint-Genouph, CFA de Saint-Pierre-des-Corps) sont les moins accessibles du point de vu du temps de parcours. Il est de même rassurant de remarquer que de la gendarmerie à l'école Marceau, les temps de parcours sont décroissant en allant du plus éloigné du centre au plus proche ce celui-ci. Cette information nous réconforte sur les calculs effectués par le logiciel, du fait de la cohérence des résultats.

Ce classement nous amène à l'établissement de l'indicateur d'accessibilité désigné comme la vulnérabilité potentielle. Plus l'enjeu est accessible, plus sa vulnérabilité est faible.

- | | |
|------------------------------------|-----------------------------|
| 1. Ecole primaire de Saint-Genouph | 7. Ecole Marceau |
| 2. Mairie | 8. Habitations à Tours |
| 3. CFA | 9. Préfecture |
| 4. Gendarmerie | 10. Hôpital Bretonneau |
| 5. Collège | 11. Habitations à Saint-Cyr |
| 6. Ecole Courier | 12. Hôpital Clocheville |

Ce critère d'accessibilité va par la suite nourrir le multicritère utilisé précédemment, afin d'améliorer la classification des enjeux. Ce dernier critère ajouté, la performance de chaque enjeu correspondra à la valeur en temps dépensée moyenne pour aller à l'enjeu. C'est le temps réel et non le classement obtenu qui sera la valeur de ce critère, afin d'étaler les valeurs et de différencier mieux les enjeux. Deux enjeux proches seront ainsi équivalents, et un très loin, largement préféré.

3. Etablissement du classement tenant compte de la vulnérabilité potentielle : Bd PEL 2



Un nouveau critère, l'accessibilité moyenne a été pris en compte. Sa pondération donnée est de 5. Ce critère est équivalent aux deux critères déterminant le risque : l'aléa et le nombre d'étage. En effet, la vulnérabilité potentielle est une forme de risque, déterminé par un temps d'attente.

Les pondérations attribuées sont donc les suivantes :

- Accessibilité moyenne : 5
- Aléa : 5
- Etage : 5
- Population : 4
- Fragilité : 3
- Risque non humain : 2
- Importance pop : 1

Le résultat du classement est visible dans le tableau ci-contre :

Rang	Alternative
1	Ecole St Genouph
2	Mairie
2	CFA
2	Habitations Tours
3	Collège
3	Hopital Bretonneau
4	Ecole Courier
4	Habitations St Cyr
5	Ecole Marceau
6	Hopital Clocheville
7	Gendarmerie
8	Préfecture

Figure 9 : Classement des enjeux dans la Bd PEL 2

Classement réalisé par Electre III

Rang	Alternative
1	Habitations Tours
2	Ecole St Genouph
3	Ecole Courier
3	Collège
3	CFA
3	Hopital Bretonneau
4	Ecole Marceau
4	Habitations St Cyr
5	Hopital Clocheville
6	Mairie
7	Gendarmerie
8	Préfecture

Le résultat le plus marquant est l'ascension de la Mairie. En effet, cet enjeu qui n'avait pas de caractère justifiant un classement élevé (rang 6 sur 8) se retrouve à présent en tête de liste (2 sur 8).

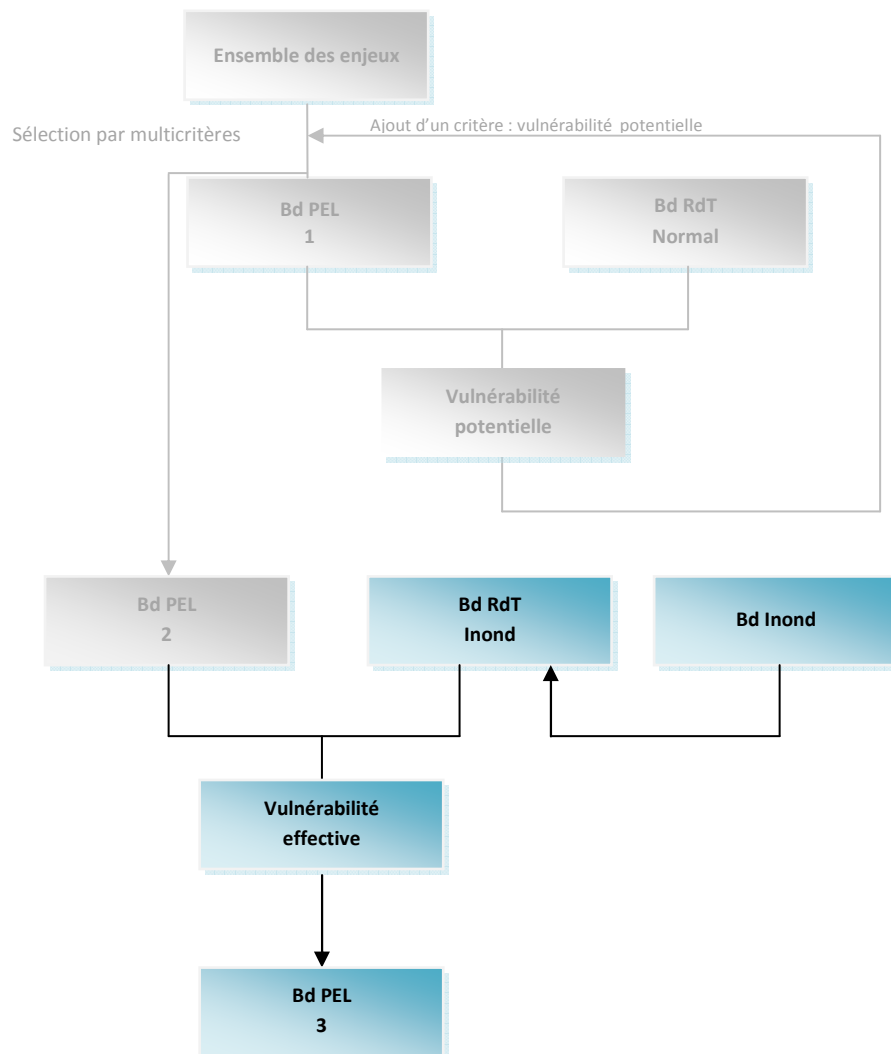
A contrario, la gendarmerie, dont la vulnérabilité potentielle était plutôt forte, ne change pas de classement et reste avant-dernière. Ceci s'explique par des critères autres trop faibles pour que même l'accessibilité vienne modifier son classement.

La Préfecture reste toujours dernière. Malgré son importance, les critères principaux sont faibles (aléa, population, accessibilité, nombre d'étages).

En moyenne, nous pouvons dire que les enjeux les plus accessibles perdent un rang, et les moins accessibles gagnent un rang par rapport au classement initial (Bd PEL 1 dont le rappel est figuré *ci-contre à gauche*). Ce résultat est plutôt satisfaisant, et cohérent.

II) Détermination de la vulnérabilité effective

Cette partie a pour objectif de déterminer la vulnérabilité potentielle, c'est-à-dire de caractériser une nouvelle fois les enjeux en intégrant cette fois-ci leur accessibilité en période d'inondation, selon les différentes hauteurs modélisées.



Le premier travail est de croiser la base de données des inondations avec celle du réseau de transport, afin de déterminer la base de données de cette dernière en période d'inondation.

Comme précisé dans la partie 3., les vitesses ont été modifiées sur les arcs routiers inondés. Grâce aux nouvelles vitesses, un nouveau calcul du temps d'accès aux enjeux a été réalisé, ceci, pour chaque hauteur d'inondation. Voyons, selon le type d'inondations, les conséquences sur l'accessibilité des enjeux.

1. Evolution de l'accessibilité en période d'inondation d'hauteur d'eau de 2 mètres

Dans la base de données du réseau routier initial, les temps de parcours sur chaque arc ont été modifiés en fonction de la hauteur d'eau résultante pour une inondation de 2 m de hauteur.

En prenant comme hauteur de référence 44,6 m, nous avons déterminé la hauteur d'eau sur les arcs par le calcul suivant :

$$h_{\text{eau inondation (2m)}} = h_{\text{arc}} - 46,6$$

Ainsi, tout arc inférieur à la hauteur d'eau de 2 mètres, correspondant à l'altitude de 46,6 dans le référentiel IGN 69 (hauteur de Tours + 2 mètres d'inondation), sera submergé, c'est-à-dire que la hauteur obtenue sera négative.

Les tronçons se sont vus attribués une nouvelle vitesse en fonction de la hauteur d'eau. Ainsi, par exemple, un tronçon de vitesse habituel de 70 km/h, submergé ici par 25 cm d'eau, se verra attribué une nouvelle vitesse correspondant à la tranche [0 cm-30cm] de 50 km/h (*Rappelons que ces vitesses sont détaillés dans l'annexe page p.71*). Ainsi, le coût en temps pour ce tronçon diminue, et donc, en empruntant celui-ci pour aller à un enjeu, ce dernier voit son accessibilité diminuée.

La carte de l'inondation est la suivante :

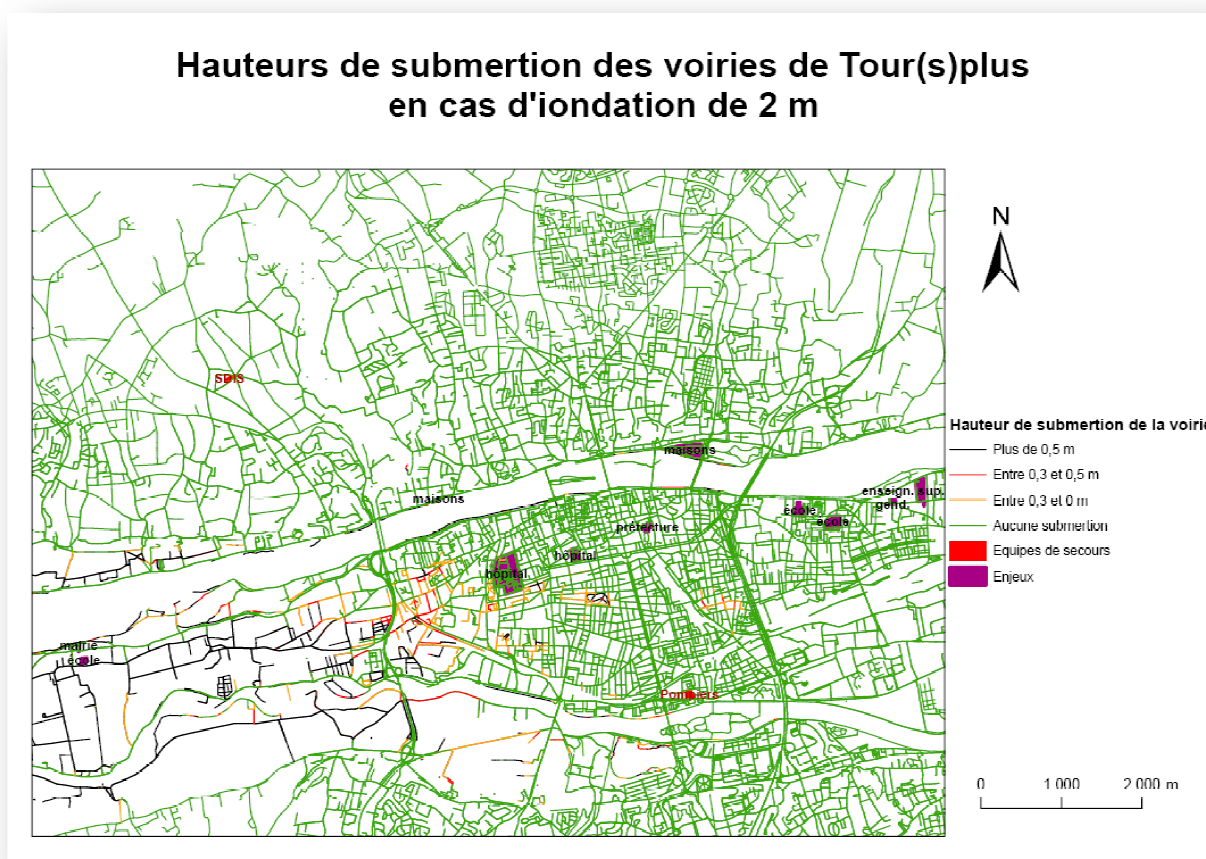


Figure 10 : Carte des hauteurs de submersion de la voirie pour une inondation de 2 m

Réalisé sur le logiciel ArcMap

Sources : Bd Topo IGN 97 et résultats personnels

Après calcul du chemin minimum en temps par GVSIG, nous obtenons un nouveau temps de parcours entre les équipes de secours et les enjeux. Afin de mieux visualiser la différence de ce

temps, le résultat donné est la soustraction du nouveau temps avec l'ancien. Le temps ainsi visualisable est réellement l'évolution de l'accessibilité en période d'inondation.

Les résultats obtenus sont les suivants :

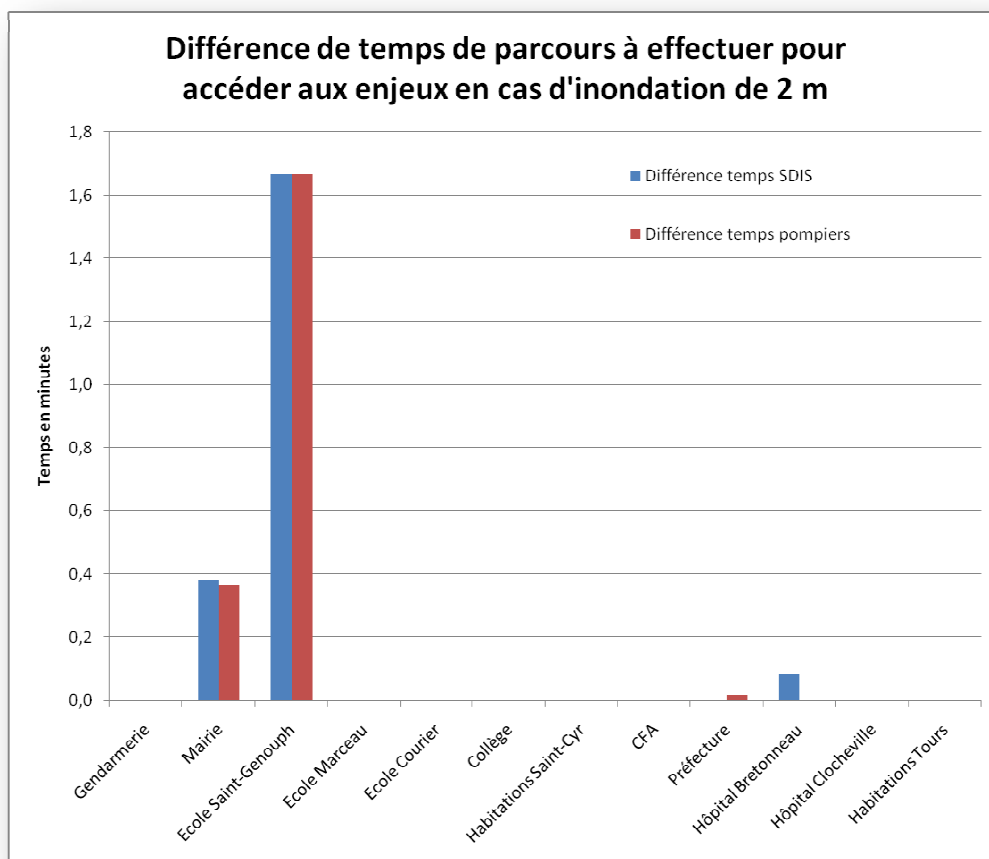


Figure 11 : Graphique déterminant la différence de temps de parcours à effectuer des services des secours aux enjeux, entre une situation normale et une inondation de 2 m

Calculs effectués par le logiciel GVSIG, depuis une base de données produite personnellement.

La première chose à rappeler avant d'analyser les résultats est les conditions de modélisation des inondations. Ayant pris comme altitude moyenne la hauteur de Tours, les villes en aval (par exemple Saint-Genouph) ont été surestimées du point de vu de la hauteur d'eau, alors qu'inversement, celles en amont (par exemple Saint-Pierre-des-Corps) ont été sous-estimées. De plus, les valeurs sont à relativiser par rapport aux vitesses déterminées. Ces résultats ne sont pas à prendre comptants, mais donnent uniquement une idée de la différence d'accessibilité.

Les résultats montrent en effet, une différence d'accessibilité principalement pour les deux enjeux de Saint-Genouph : la Mairie et l'école. La Mairie, dont l'accès se fait par la route construite sur la digue, est logiquement plus faiblement atteinte : la route est en effet surélevée par rapport à la hauteur moyenne de la commune, et l'inondation freine à peine le chemin. Par contre, pour l'école située en contrebas de la digue, le chemin devient plus long du fait de l'eau sur les routes de la commune, qui oblige, dès ce stade, à utiliser le bateau.

La Préfecture et l'hôpital Bretonneau voient l'une de leur accessibilité variée, mais les valeurs sont si faibles que cela reste négligeable.

Pour les autres enjeux, aucun changement n'est encore à déclarer.

La vulnérabilité effective pour une inondation de 2 mètres dans les conditions de l'étude est très légèrement modifiée par rapport aux conditions normales. Voici le tableau présentant les nouveaux temps d'accès (moyenne entre le temps de parcours du SDIS aux enjeux, et celui des Pompiers) et la différence par rapport aux conditions normales :

Enjeux	Temps moyen d'accessibilité aux enjeux (en minutes)	Différence moyen du temps d'accès aux enjeux (minutes'secondes'')
Gendarmerie	5,9	0'0''
Mairie	7,6	0'25'
Ecole Saint-Genouph	9,4	1'42''
Ecole Marceau	5,1	0'0''
Ecole Courier	5,3	0'0''
Collège	5,6	0'0''
Habitations Saint-Cyr	4,3	0'0''
CFA	6,3	0'0''
Préfecture	4,3	0'1''
Hôpital Bretonneau	4,3	0'3''
Hôpital Clocheville	4,1	0'0''
Habitations Tours	4,5	0'0''

En intégrant ce critère de vulnérabilité effective dans la classification des enjeux, nous pouvons enfin obtenir le classement final des enjeux, prenant compte de la vulnérabilité de l'enjeu en termes d'accessibilité en période d'inondation.

Ce classement, prend donc en compte le nouveau temps d'accès. Plus le temps est long, plus l'on s'attend à voir l'enjeu concerné monter dans la classification par rapport à Bd PEL 1 (c'est-à-dire le classement sans tenir compte de l'accessibilité).

Le classement à venir est à comparé à Bd PEL 2 (tenant compte de l'accessibilité en temps normal). S'il y a évolution dans le classement, l'enjeu concerné sera plus difficilement accessible en période d'inondation qu'en période normale.

Il n'est cependant pas surprenant si aucun changement n'a lieu : de façon générale, plus un enjeu est difficilement accessible en période normale, plus il le sera en période d'inondation. Ainsi, étudions ce que donne ce nouveau classement.

Les pondérations attribuées sont les suivantes :

- Temps d'accessibilité en période d'inondation : 5
- Aléa : 5
- Etage : 5
- Population : 4
- Fragilité : 3
- Risque non humain : 2
- Importance pop : 1

Le résultat du classement est visible dans le tableau ci-contre :

Figure 12 :
Classement des
enjeux dans la Bd PEL
3, en cas d'inondation
de 2 mètres

*Classement réalisé par
Electre III*

Rang	Alternative
1	Ecole St Genouph
2	Mairie
2	CFA
2	Habitations Tours
3	Collège
3	Hopital Bretonneau
4	Ecole Courrier
4	Habitations St Cyr
5	Ecole Marceau
6	Hopital Clocheville
7	Gendarmerie
8	Préfecture

Au vu des faibles différences de temps pour accéder aux enjeux en cas de crue de hauteur de 2 m par rapport à une situation normale, il n'est pas étonnant de constater que la différence de classement est nulle. Cela ne fait que rappeler que la vulnérabilité effective de ces enjeux précisément est très proche de la vulnérabilité potentielle étudiée plus haut.

L'impact de cette crue, dans les limites de l'étude précisées, est donc quasi-nulle, en termes d'accessibilité aux enjeux étudiés.

2. Evolution de l'accessibilité en période d'inondation d'hauteur d'eau de 3 mètres

Comme précédemment, une modélisation de l'inondation à été effectuée.

La carte de l'inondation est la suivante :

Hauteurs de submersion des voiries de Tour(s)plus en cas d'inondation de 3 m



Figure 13 : Carte des hauteurs de submersion de la voirie pour une inondation de 3 m

Réalisé sur le logiciel ArcMap

Sources : Bd Topo IGN 97 et résultats personnels

Après calcul du chemin minimum en temps par GVSIG, nous obtenons un nouveau temps de parcours entre les équipes de secours et les enjeux.

Les résultats obtenus sont les suivants :

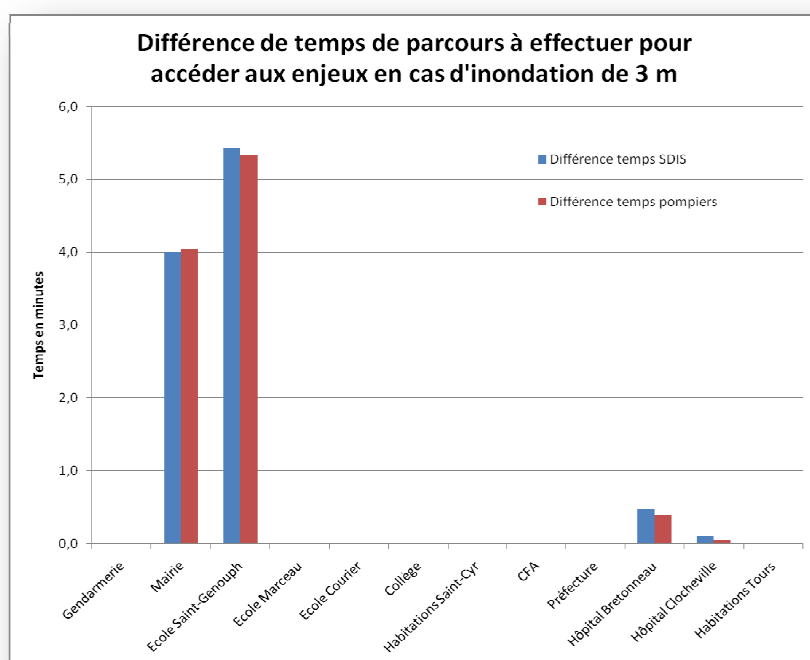


Figure 14 : Graphique déterminant la différence de temps de parcours à effectuer des services des secours aux enjeux, entre une situation normale et une inondation de 3 m

Calculs effectués par le logiciel GVSIG, depuis une base de données produite personnellement.

Les deux enjeux de Saint-Genouph voient encore leur temps accessibilité augmenter. De même pour l'hôpital Bretonneau. L'hôpital Clocheville voit à son tour son accessibilité changer, mais de manière encore négligeable.

La Préfecture voyait précédemment une légère différence de temps d'accès des pompiers. Il semble sur le graphique que cette différence est à présent nulle. En réalité, l'échelle ayant changée et la différence étant très faible, celle-ci ne se distingue pas sur le graphique, mais est toujours présente bien que négligeable.

Pour les autres enjeux, aucun changement n'est encore à déclarer.

La vulnérabilité effective pour une inondation de 3 mètres dans les conditions de l'étude est légèrement modifiée par rapport aux conditions normales. Voici le tableau présentant les nouveaux temps d'accès et la différence par rapport aux conditions normales :

Enjeux	Temps moyen d'accessibilité aux enjeux (en minutes)	Différence moyen du temps d'accès aux enjeux (minutes'secondes'')
Gendarmerie	5,9	0'00''
Mairie	11,3	4'00'
Ecole Saint-Genouph	13,1	5'23''
Ecole Marceau	5,1	0'00''
Ecole Courier	5,3	0'00''
Collège	5,6	0'00''
Habitations Saint-Cyr	4,3	0'00''
CFA	6,3	0'00''
Préfecture	4,3	0'01''
Hôpital Bretonneau	4,7	0'25''
Hôpital Clocheville	4,2	0'05''
Habitations Tours	4,5	0'00''

En intégrant ce critère de vulnérabilité effective dans la classification des enjeux, nous pouvons enfin obtenir le classement final des enjeux, prenant compte de la vulnérabilité de l'enjeu en termes d'accessibilité en période d'inondation.

Les pondérations attribuées sont toujours les suivantes :

- Temps d'accessibilité en période d'inondation : 5
- Aléa : 5
- Etage : 5
- Population : 4
- Fragilité : 3
- Risque non humain : 2
- Importance pop : 1

Le résultat du classement est visible dans le tableau ci-contre :

Figure 15 : Classement des enjeux dans la Bd PEL 3, en cas d'inondation de 3 mètres

Classement réalisé par Electre III

Rang	Alternative
1	Ecole St Genouph
2	Mairie
2	CFA
2	Habitations Tours
3	Collège
3	Hopital Bretonneau
4	Ecole Courier
4	Habitations St Cyr
5	Ecole Marceau
6	Hopital Clocheville
7	Gendarmerie
8	Préfecture

Ce tableau est toujours le même que précédemment. C'est-à-dire que les enjeux ont toujours le même ordre, que ce soit en période normale, de crue de 2 m ou de crue de 3 m. Au vu des faibles différences de temps pour accéder aux enjeux en cas de crue de hauteur de 3 m par rapport à une situation normale, il n'est pas étonnant de constater que cette différence de classement est nulle.

De plus, les enjeux dont la vulnérabilité en termes d'accessibilité est la plus forte (Mairie et école de Saint-Genouph), se trouvaient déjà en tête de liste. Il est donc difficile de les faire monter plus. Les autres n'observent pas de différence suffisante pour que le classement varie.

Ce manque de variation doit être vu plus comme un hasard des enjeux choisis, que comme une déception de la méthode élaborée. En étendant cette dernière à une multitude d'enjeux, il serait très probable que le classement change.

L'impact de cette crue, dans les limites de l'étude précisées, est donc quasi-nulle, en termes d'accessibilité aux enjeux étudiés.

3. Evolution de l'accessibilité en période d'inondation d'hauteur d'eau de 3,7 mètres

Comme précédemment, une modélisation de l'inondation a été effectuée.

La carte de l'inondation est la suivante :

Hauteurs de submersion des voiries de Tour(s)plus en cas d'inondation de 3,7 m

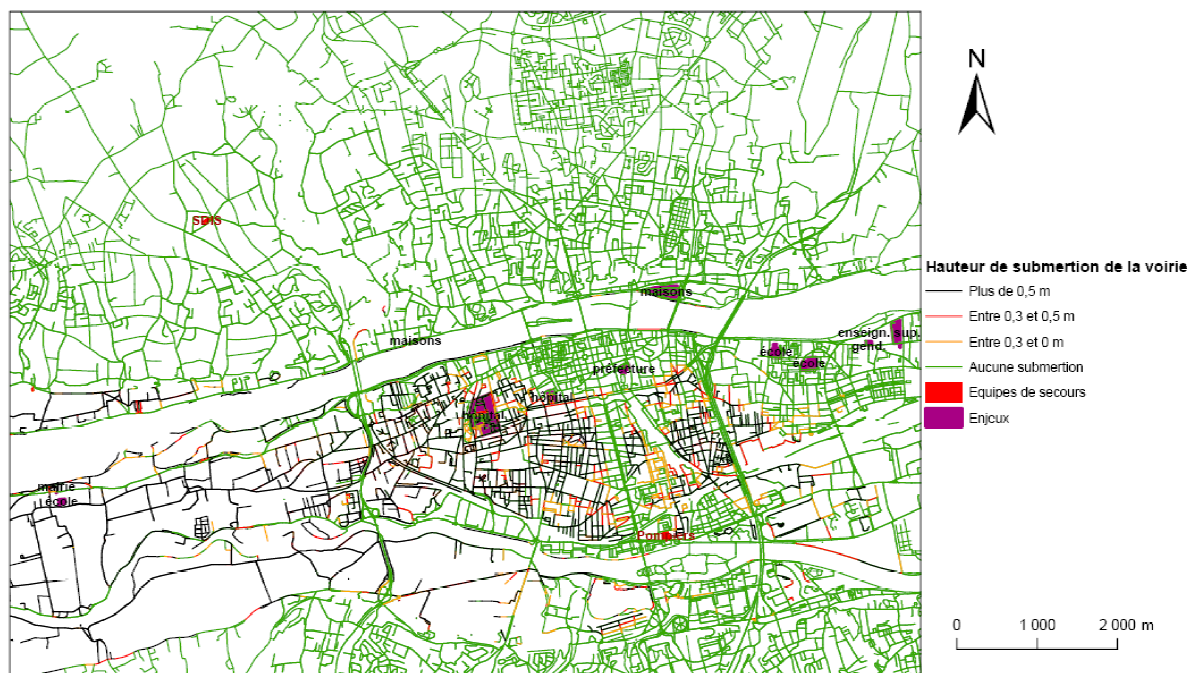


Figure 16 : Carte des hauteurs de submersion de la voirie pour une inondation de 3,7 m

Réalisé sur le logiciel ArcMap

Sources : Bd Topo IGN 97 et résultats personnels

Après calcul du chemin minimum en temps par GVSIG, nous obtenons un nouveau temps de parcours entre les équipes de secours et les enjeux.

Les résultats obtenus sont les suivants :

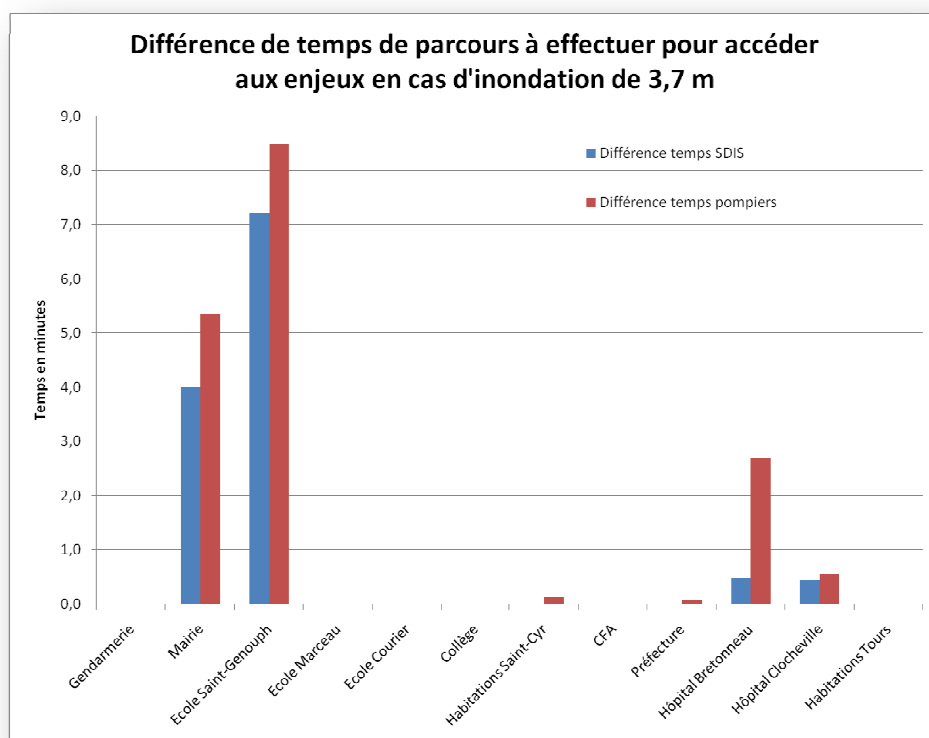


Figure 17 : Graphique déterminant la différence de temps de parcours à effectuer des services des secours aux enjeux, entre une situation normale et une inondation de 3,7 m

*Calculs effectués par le logiciel GVSIG,
depuis une base de données produite
personnellement.*

Les deux enjeux de Saint-Genouph voient encore leur temps accessibilité augmenter. De même pour l'hôpital Bretonneau, et de façon très nette concernant les pompiers. L'hôpital Clocheville observe plus que précédemment son accessibilité changer, mais de manière encore négligeable. Même observation concernant la Préfecture.

A présent, les habitations de Saint-Cyr observent un léger changement, mais toujours négligeable.

Pour les autres enjeux, aucun changement n'est encore à déclarer.

La vulnérabilité effective pour une inondation de 3,7 mètres dans les conditions de l'étude est très légèrement modifiée par rapport aux conditions normales. Voici le tableau présentant les nouveaux temps d'accès et la différence par rapport aux conditions normales :

Enjeux	Temps moyen d'accessibilité aux enjeux (en minutes)	Différence moyen du temps d'accès aux enjeux (minutes'secondes'')
Gendarmerie	5,9	0'00''
Mairie	11,9	4'40'
Ecole Saint-Genouph	15,6	7'50''
Ecole Marceau	5,1	0'00''
Ecole Courier	5,3	0'00''
Collège	5,6	0'00''
Habitations Saint-Cyr	4,4	0'04''
CFA	6,3	0'00''
Préfecture	4,3	0'03''
Hôpital Bretonneau	5,9	1'36''
Hôpital Clocheville	4,6	0'30''
Habitations Tours	4,5	0'00''

En intégrant ce critère de vulnérabilité potentielle dans la classification des enjeux, nous pouvons enfin obtenir le classement final des enjeux, prenant compte de la vulnérabilité de l'enjeu en termes d'accessibilité en période d'inondation.

Les pondérations attribuées sont toujours les suivantes :

- Temps d'accessibilité en période d'inondation : 5
- Aléa : 5
- Etage : 5
- Population : 4
- Fragilité : 3
- Risque non humain : 2
- Importance pop : 1

Le résultat du classement est visible dans le tableau ci-contre :

Figure 18 : Classement des enjeux dans la Bd PEL 3, en cas d'inondation de 3,7 mètres

Classement réalisé par Electre III

Rang	Alternative
1	Ecole St Genouph
2	Mairie
2	CFA
2	Habitations Tours
3	Collège
3	Hopital Bretonneau
4	Ecole Courier
4	Habitations St Cyr
5	Ecole Marceau
6	Hopital Clocheville
7	Gendarmerie
8	Préfecture

Ce tableau est toujours le même que précédemment. C'est-à-dire que les enjeux ont toujours le même ordre, que ce soit en période normale, de crue de 2 m, de 3 m, ou de 3,7m.

Comme précédemment, les faibles différences de temps pour accéder aux enjeux en cas de crue par rapport à une situation normale, et le fait que les enjeux dont la vulnérabilité est la plus forte (Mairie et école de Saint-Genouph) se trouvent déjà en tête de liste, il est normal, bien que décevant, que le classement ne change pas.

Ceci est de plus le fait de l'imprécision des données. Normalement Saint-Pierre-des-Corps devrait être totalement inondé.

Un autre fait est que les axes majeurs apparaissent comme indemnes à l'inondation, ce qui permet aux secouristes de circuler sur ces axes, déjà empruntés en temps normal, et donc de ne pas modifier l'accessibilité pour certains enjeux car le chemin reste la même.

L'impact de cette crue, dans les limites de l'étude précisées, est donc quasi-nulle, en termes d'accessibilité aux enjeux étudiés.

4. Evolution de l'accessibilité en période d'inondation d'hauteur d'eau de 4,5 mètres

Comme précédemment, une modélisation de l'inondation à été effectuée.

La carte de l'inondation est la suivante :

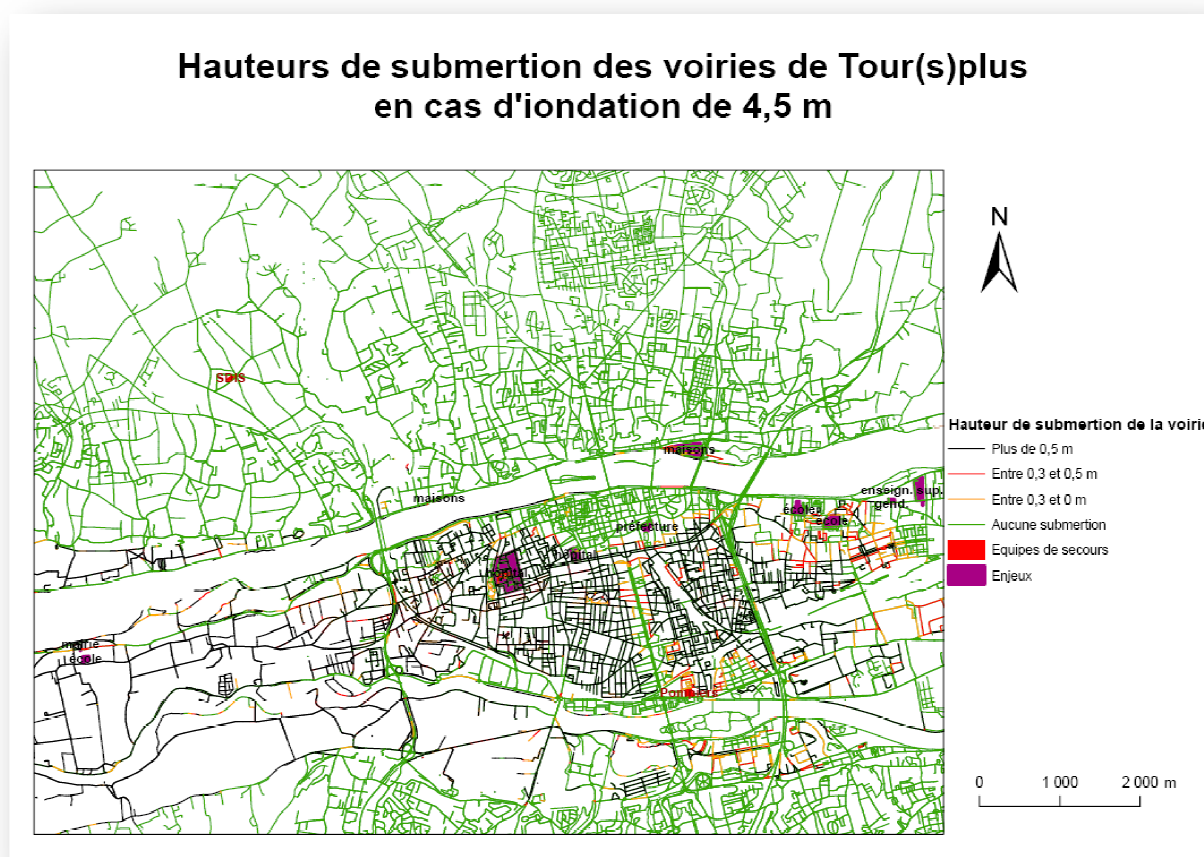


Figure 20 : Carte des hauteurs de submersion de la voirie pour une inondation de 4,5 m

Réalisé sur le logiciel ArcMap, Sources : Bd Topo IGN 97 et résultats personnels

Après calcul du chemin minimum en temps par GVSIG, nous obtenons un nouveau temps de parcours entre les équipes de secours et les enjeux :

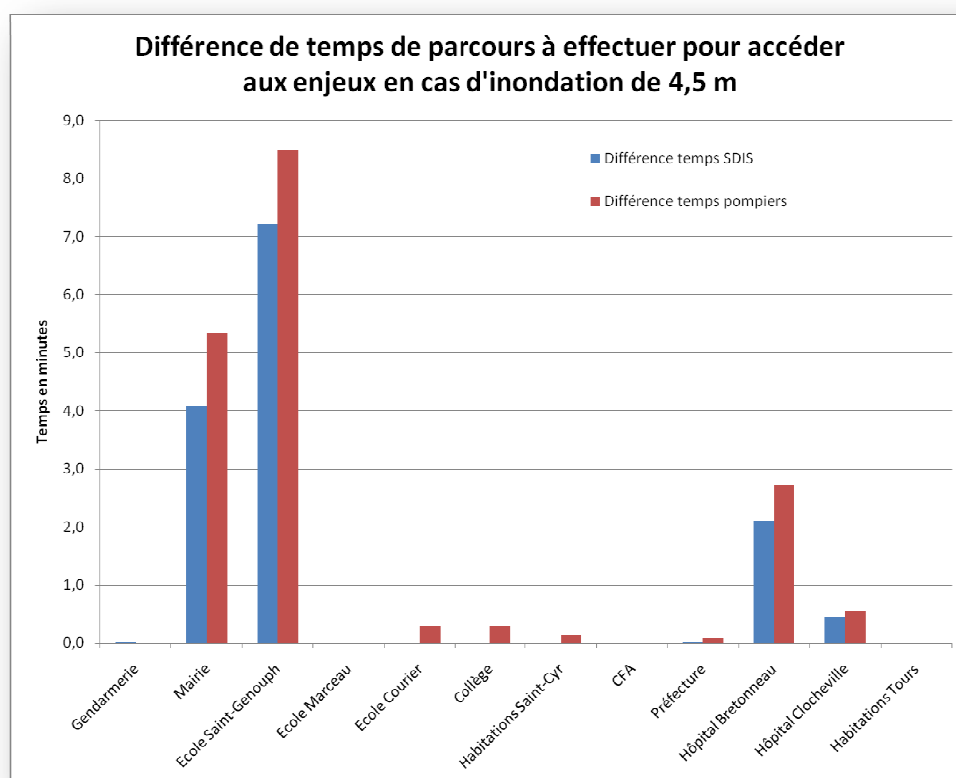


Figure 19 : Graphique déterminant la différence de temps de parcours à effectuer des services des secours aux enjeux, entre une situation normale et une inondation de 4,5 m

Calculs effectués par le logiciel GVSIG, depuis une base de données produite personnellement.

Les deux enjeux de Saint-Genouph voient cette fois-ci leur temps d'accès stagner. En effet, l'inondation n'a pas modifié les zones submergées à cet endroit, et les temps atteints précédemment sont donc ici les mêmes.

Par contre dans le centre de Tours, l'inondation atteint des hauteurs plus hautes, voire des nouveaux quartiers, ce qui modifie et augmente l'accessibilité des enjeux de ces zones : l'hôpital Bretonneau et l'hôpital Clocheville. La différence de temps d'accès est plus longue pour les pompiers que le SDIS car ce sont les quartiers sud les plus touchés. Le coteau nord, les ponts et le vieux quartier de Tours ne se retrouvent pas inondés, ce qui facilite l'accès pour le SDIS. Cette observation est notamment valable pour l'école Courier, le collège et les habitations de Saint-Cyr, dont seul le temps d'accès des pompiers est augmenté, même si celui-ci est négligeable.

Pour les autres enjeux, l'école Marceau, le CFA, la gendarmerie aucun changement n'est à déclarer. Ceci s'explique par l'accès possible par la route construite sur la digue, surélevée, et non inondée. Si la digue en aval (vers Saint-Genouph) est elle inondée partiellement, la digue amont devrait logiquement l'être au moins un peu. Toujours les mêmes limites de la modélisation des inondations peuvent expliquer ce phénomène, et donc le manque de changement concernant l'accessibilité.

La vulnérabilité effective pour une inondation de 4,5 mètres dans les conditions de l'étude est assez légèrement modifiée par rapport aux conditions normales. Voici le tableau présentant les nouveaux temps d'accès et la différence par rapport aux conditions normales :

Enjeux	Temps moyen d'accessibilité aux enjeux (en minutes)	Différence moyen du temps d'accès aux enjeux (minutes'secondes'')
Gendarmerie	5,9	0'05''
Mairie	12	4'43'
Ecole Saint-Genouph	15,6	7'50''
Ecole Marceau	5,1	0'00''
Ecole Courier	5,4	0'09''
Collège	5,7	0'09''
Habitations Saint-Cyr	4,4	0'04''
CFA	6,3	0'00''
Préfecture	4,3	0'03''
Hôpital Bretonneau	6,7	2'25''
Hôpital Clocheville	4,6	0'30''
Habitations Tours	4,5	0'00''

En intégrant ce critère de vulnérabilité effective dans la classification des enjeux, nous pouvons enfin obtenir le classement final des enjeux, prenant compte de la vulnérabilité de l'enjeu en termes d'accessibilité en période d'inondation.

Les pondérations attribuées sont toujours les suivantes :

- Temps d'accessibilité en période d'inondation : 5
- Aléa : 5
- Etage : 5
- Population : 4
- Fragilité : 3
- Risque non humain : 2
- Importance pop : 1

Le résultat du classement est visible dans le tableau ci-contre :

Figure 21 : Classement des enjeux dans la Bd PEL 3, en cas d'inondation de 4,5 mètres

Classement réalisé par Electre III

Rang	Alternative
1	Ecole St Genouph
2	Mairie
2	CFA
2	Habitations Tours
3	Hopital Bretonneau
4	Collège
5	Ecole Courrier
5	Habitations St Cyr
6	Ecole Marceau
7	Hopital Clocheville
8	Gendarmerie
9	Préfecture

Ce tableau est presque le même que précédemment. L'hôpital Bretonneau, qui était au même rang que le collège, se distinct à présent de lui en le surclassant. Mis à part ce détail, le classement est le même.

Comme précédemment, les faibles différences de temps pour accéder aux enjeux en cas de crue par rapport à une situation normale, le fait que les enjeux dont la vulnérabilité est la plus forte se trouvent déjà en tête de liste, l'imprécision des données, et les axes majeurs indemnes à l'inondation, font que le classement ne change pas.

L'impact de cette crue, dans les limites de l'étude précisées, est donc presque nul, en termes d'accessibilité aux enjeux étudiés.

III) Analyse critique des résultats

L'étude de l'accessibilité des enjeux choisis en période d'inondations se montre au final mitigée.

D'un côté, nous remarquons qu'il y a une certaine cohérence dans les résultats, ce qui tend à penser que l'étude des enjeux, ainsi que les calculs d'accessibilité sont relativement justes. Cependant, il est vrai que les résultats finaux sont peu évolutifs.

La question est alors de savoir si la modélisation effectuée dans ce PFE est trop limitée pour obtenir des chiffres significatifs, ou si, finalement, il y a un certain optimisme à avoir vis-à-vis d'une crue possible, se déversant dans tout le val ?

En première réponse, nous pouvons affirmer que la modélisation présentée ici fait face à de nombreuses approximations qui masquent les phénomènes réels et ainsi, faussent les résultats obtenus. En effet, si l'on prend le cas de Saint-Pierre-des-Corps, il est clair que les inondations devraient poser plus de dommages sur le réseau que dans les inondations présentées ci-dessus.

D'un autre côté, nous pouvons remarquer que des axes majeurs, telle l'avenue de Grammont est presque indemne face à toute modélisation effectuée dans cette recherche ; de même pour les principaux axes de l'agglomération. Ceci est plutôt positif si l'on se pose du point de vue des secouristes. Leur travail en sera facilité, ce qui réduit ainsi la vulnérabilité générale des enjeux. Par contre, une très grosse partie des communes du val se retrouveraient dans une situation périlleuse.

Concernant l'évolution du classement des enjeux de ce rapport, leur faible évolution n'est pas signe d'une mauvaise méthode. Nous avons en effet constaté qu'il y avait une augmentation de l'accessibilité, et que celle-ci augmentait avec la hauteur de l'inondation. S'il peut paraître décevant de ne pas voir le classement des enjeux évoluer, ceci reste malgré tout le fait du nombre faible d'enjeux choisis. Avec une centaine d'enjeux, des résultats différents auraient été constatés.

En considérant cette méthode, et en l'améliorant avec des chiffres et des données plus précises, il est certain que les résultats puissent être de bonne qualité.

Même si les chiffres présents peuvent être discutés, d'un côté nous retiendrons que les voies principales résisteraient bien à une inondation, d'autre part, que la situation pourrait être grave pour beaucoup de maisons situées en zone inondable mettant les secouristes en grande contribution.

CONCLUSION GENERALE

D'un bout à l'autre de l'étude, ce travail s'est montré très intéressant à réaliser. Les inondations sont en effet un sujet très préoccupant ces temps-ci dans nos régions. Il s'agit d'un enjeu majeur, et le risque des populations, sous l'angle de l'accessibilité, est une donnée encore trop peu prise en compte.

Ce travail s'est donc proposé de déterminer une méthode visant, à terme, à développer un outil de prévention destiné aux équipes de secours, pour une meilleure préparation et gestion de crise.

Ce projet de fin d'études s'est principalement penché sur la détermination d'une méthode basée sur un outil de classification par multicritère, élaboré par la méthode Electre III. Celui-ci est défini par des performances propres aux enjeux, dont l'accessibilité occupe une part importante. Une classification a été ainsi proposée pour chaque type d'inondation, afin de connaître les priorités à avoir pour les équipes de secours.

Les scénarios d'inondations ont été pensés dans le cas redouté de la rupture de digue. Le réseau routier figure ainsi inondé sur une partie plus ou moins étendue du territoire, ralentissant les services de secours et donc, réduisant l'accessibilité de ces derniers aux enjeux principaux.

Les études de modélisation, et les résultats obtenus restent à l'échelle des données disponibles.

Il apparaît une certaine cohérence des résultats, ce qui permet de penser que la modélisation et les calculs ont été menés dans une bonne logique. Concernant le résultat général, des données plus abouties auraient permis d'obtenir des analyses plus fines.

Cependant, nous retiendront le bénéfice de ce travail dans tout ce que cela pourra nous apporter dans notre carrière.

Table des matières

Remerciements	1
INTRODUCTION	7
PARTIE 1. PRESENTATION ET PROBLEMATISATION DU PFE	8
1. <i>Une nouvelle approche de la vulnérabilité en période d'inondation</i>	8
2. <i>Objectifs du projet</i>	9
3. <i>Cadre de recherche du projet</i>	11
4. <i>Les étapes à suivre</i>	11
5. <i>Un projet en coopération avec le Département Informatique de Polytech'Tours</i>	11
PARTIE 2. ETAT DE L'ART ET ETAT DES LIEUX	12
I) <i>La compréhension générale du phénomène inondation</i>	12
1. <i>Composition d'un cours d'eau</i>	12
2. <i>Typologie et définitions du phénomène, limitées aux inondations par débordement direct</i>	13
3. <i>L'occurrence des crues</i>	14
4. <i>L'aléa inondation</i>	14
5. <i>Le risque inondation</i>	15
II) <i>Les mesures de prévention et l'organisation des secours</i>	16
1. <i>La prévention des inondations</i>	16
2. <i>L'organisation des secours, entre Etat et Maires</i>	16
III) <i>Le Val de Tours, un lieu d'étude particulièrement sensible aux inondations</i>	17
1. <i>Le régime hydrologique de la Loire</i>	17
2. <i>Caractéristiques du Val de Tours, et région d'étude du PFE</i>	19
3. <i>Les missions et les effectifs du SDIS 37 mobilisables face au risque inondation</i>	22
PARTIE 3. LA METHODE ET LES OUTILS DE TRAVAIL DU PFE	24
I) <i>L'intégration d'un outil de classement par multicritère</i>	24
1. <i>Un programme basé sur la méthode Electre III</i>	24
2. <i>Application dans le cadre de l'étude d'accessibilité</i>	24
3. <i>Les critères choisis</i>	24
4. <i>Inconvénients de la méthode</i>	25
II) <i>Système d'Information Géographique (S.I.G.) et données nécessaires sous forme de bases de données</i>	26
1. <i>Un travail sur Système d'Information Géographique (S.I.G.)</i>	26
2. <i>Un travail basé sur trois bases de données principales</i>	26
3. <i>Deux définitions d'indicateurs d'accessibilité</i>	26
4. <i>Le logiciel du calcul d'accessibilité</i>	27

III)	La méthode de travail, par croisement des bases et enrichissement du multicritère.....	29
1.	La méthode de travail	29
2.	L'exploitation des résultats.....	32
IV)	Présentation et limites des bases de données	33
1.	La base de données des principaux enjeux localisés	33
2.	La base de données du réseau routier	44
3.	La base de données des inondations	45
PARTIE 4. OBTENTION ET ANALYSE DES RESULTATS		49
I)	Détermination de la vulnérabilité potentielle	49
1.	Etablissement du classement initial : Bd PEL 1	49
2.	Etablissement de la vulnérabilité potentielle.....	50
3.	Etablissement du classement tenant compte de la vulnérabilité potentielle : Bd PEL 2	52
II)	Détermination de la vulnérabilité effective	54
1.	Evolution de l'accessibilité en période d'inondation d'hauteur d'eau de 2 mètres.....	54
2.	Evolution de l'accessibilité en période d'inondation d'hauteur d'eau de 3 mètres.....	58
3.	Evolution de l'accessibilité en période d'inondation d'hauteur d'eau de 3,7 mètres.....	61
4.	Evolution de l'accessibilité en période d'inondation d'hauteur d'eau de 4,5 mètres.....	64
III)	Analyse critique des résultats	68
CONCLUSION GENERALE		69
Table des matières		70
Table des illustrations.....		72
Annexes.....		73
I)	La prévention des inondations via des mesures d'aménagement du territoire	73
	Le champ des responsabilités	73
	La réglementation de l'occupation des sols.....	74
	Les atlas des zones inondables : un outil de connaissance	74
II)	Calcul et estimation des vitesses pour les bases de données du réseau de transport en période normale et en période d'inondation.....	75
	Calcul des vitesses dans la base de données du réseau de transport (Bd Rdt)	75
	Calcul des vitesses dans la base de données du réseau de transport inondé (Bd RdT inond)	76
III)	Sélection des enjeux	76
	La sélection des équipements.....	76
	La sélection des habitations	80

Table des illustrations

FIGURE 1 : GRAPHIQUE DETERMINANT LES DATES ET HAUTEURS DES PRINCIPALES INONDATIONS AYANT EU LIEU A TOURS, ENTRE 1789 ET 2003	18
FIGURE 2 : LES COMMUNES DE TOUR(S)PLUS ET LEUR DENSITE D'HABITANTS AU KM ²	20
FIGURE 3 : EXTRAIT DE LA CARTE DES ALEAS DES VALS DE TOURS, DE LUYNES ET DE VILLANDRY	22
FIGURE 4 : CARTE DE LOCALISATION DES PRINCIPAUX ENJEUX SELECTIONNES, ET EQUIPEMENTS STRATEGIQUES EN CAS D'INONDATIONS	35
FIGURE 5 : HAUTEURS ET DEBITS LOCAUX DES DIFFERENTS NIVEAUX D'ALERTE DE VIGILANCE POUR LE TRONÇON DE LA LOIRE TOURANGELLE	46
FIGURE 6 : CLASSEMENT DES ENJEUX DANS LA Bd PEL 1	49
FIGURE 7 : GRAPHIQUE ETABLISANT LE TEMPS DE PARCOURS A EFFECTUER PAR LE SDIS ET LES POMPIERS POUR ACCEDER AUX ENJEUX.	50
FIGURE 8 : GRAPHIQUE ETABLISANT LE TEMPS DE PARCOURS MOYEN A EFFECTUER ENTRE LES SERVICES DE SECOURS ET LES ENJEUX.	51
FIGURE 9 : CLASSEMENT DES ENJEUX DANS LA Bd PEL 2	53
FIGURE 10 : CARTE DES HAUTEURS DE SUBMERSION DE LA VOIRIE POUR UNE INONDATION DE 2 M	55
FIGURE 11 : GRAPHIQUE DETERMINANT LA DIFFERENCE DE TEMPS DE PARCOURS A EFFECTUER DES SERVICES DES SECOURS AUX ENJEUX, ENTRE UNE SITUATION NORMALE ET UNE INONDATION DE 2 M	56
FIGURE 12 :	58
FIGURE 13 : CARTE DES HAUTEURS DE SUBMERSION DE LA VOIRIE POUR UNE INONDATION DE 3 M	59
FIGURE 14 : GRAPHIQUE DETERMINANT LA DIFFERENCE DE TEMPS DE PARCOURS A EFFECTUER DES SERVICES DES SECOURS AUX ENJEUX, ENTRE UNE SITUATION NORMALE ET UNE INONDATION DE 3 M	59
FIGURE 15 : CLASSEMENT DES ENJEUX DANS LA Bd PEL 3, EN CAS D'INONDATION DE 3 METRES	61
FIGURE 16 : CARTE DES HAUTEURS DE SUBMERSION DE LA VOIRIE POUR UNE INONDATION DE 3,7 M	62
FIGURE 17 : GRAPHIQUE DETERMINANT LA DIFFERENCE DE TEMPS DE PARCOURS A EFFECTUER DES SERVICES DES SECOURS AUX ENJEUX, ENTRE UNE SITUATION NORMALE ET UNE INONDATION DE 3,7 M	62
FIGURE 18 : CLASSEMENT DES ENJEUX DANS LA Bd PEL 3, EN CAS D'INONDATION DE 3,7 METRES	64
FIGURE 19 : CARTE DES HAUTEURS DE SUBMERSION DE LA VOIRIE POUR UNE INONDATION DE 4,5 M	65
FIGURE 20 : GRAPHIQUE DETERMINANT LA DIFFERENCE DE TEMPS DE PARCOURS A EFFECTUER DES SERVICES DES SECOURS AUX ENJEUX, ENTRE UNE SITUATION NORMALE ET UNE INONDATION DE 4,5 M	65
FIGURE 21 : CLASSEMENT DES ENJEUX DANS LA Bd PEL 3, EN CAS D'INONDATION DE 4,5 METRES	67

Annexes

I) La prévention des inondations via des mesures d'aménagement du territoire

Le champ des responsabilités

- Le Maire :
 - En matière d'aménagement : le Maire a la responsabilité de la prévention en terme de l'espace car il a pleine compétence en matière de délivrance des permis de construire et de plan d'urbanisme ; ceux-ci en application du code de l'urbanisme, prévoient notamment les conditions permettant de prévenir les risques naturels prévisibles.
 - En matière de sécurité : Le Maire est chargé par le code général des communes de prescrire sur le territoire communal les mesures exigées par les circonstances (organisation des secours, évacuation,...)
 - En matière d'information préventive : Le Maire organise l'information de ses concitoyens dans les zones à risques. Il doit établir un dossier communal d'information sur les risques et préparer une campagne d'information et un plan d'affichage (les affiches placardées décrivent les risques majeurs, dont les inondations, susceptibles de se produire et donnent des consignes de sécurité).
- L'État est présent complémentirement :
 - En application de l'article 131-3 du code des communes, le préfet peut intervenir soit pour suppléer un Maire défaillant soit pour compléter l'intervention des Maires, en particulier sur le territoire de plusieurs communes.
 - L'Etat doit de même définir des règles à observer dans les zones présentant des risques d'inondation et délimiter ces zones.
 - En application de la loi du 22 Juillet 1987 modifiée, l'Etat établit les plans de prévention des risques naturels prévisibles (PPR) qui peuvent être imposés aux constructions.

La prévention du risque d'inondation passe avant tout par le contrôle de l'utilisation des sols, c'est à dire par l'interdiction de construire dans les zones les plus exposées aux risques et dans les champs d'expansion de crues.

La maîtrise de l'urbanisation s'exprime principalement à travers deux documents : le document d'urbanisme et les Plans de Prévention des Risques naturels (PPRN).

Les atlas des zones inondables forment un bon outil de connaissance sur les risques d'inondation, sous forme de textes et de cartes.

La réglementation de l'occupation des sols

i. Le document d'urbanisme :

Le Code de l'urbanisme impose la prise en compte des risques dans les documents d'urbanisme. Ainsi, les plans locaux d'urbanisme (PLU) permettent de refuser ou d'accepter sous certaines conditions un permis de construire, notamment dans des zones inondables.

ii. Les Plans de Prévention des Risques naturels (PPRN) :

Les plans de prévention des risques naturels prévisibles (PPR), établis par l'État, définissent des zones d'interdiction et des zones de prescription, constructibles sous réserve. Ils peuvent imposer d'agir sur l'existant pour réduire la vulnérabilité des biens. La loi réglemente l'installation d'ouvrages susceptibles de provoquer une gêne à l'écoulement des eaux en période d'inondation.

L'objectif est double : le contrôle du développement en zone inondable jusqu'au niveau de la crue de référence, et la préservation des champs d'expansion des crues.

Le PPR s'appuie sur deux cartes : la carte des aléas et la carte de zonage. Celle-ci définit trois zones :

- la zone rouge où, d'une manière générale, toute construction est interdite, soit en raison d'un risque trop fort, soit pour favoriser le laminage de la crue ;
- la zone bleue où l'on autorise les constructions sous réserve de respecter certaines prescriptions, par exemple une cote de plancher à respecter au-dessus du niveau de la crue de référence ;
- la zone blanche, zone non réglementée car non inondable pour la crue de référence.

Le PPR peut également prescrire ou recommander des dispositions constructives (mise en place de systèmes réduisant la pénétration de l'eau, mise hors d'eau des équipements sensibles) ou des dispositions concernant l'usage du sol (amarrage des citernes ou stockage des flottants). Ces mesures simples, si elles sont appliquées, permettent de réduire considérablement les dommages causés par les crues.

Les atlas des zones inondables : un outil de connaissance

Ces documents portent à la connaissance des collectivités locales et du public, les informations disponibles sur les risques d'inondation, sous forme de textes et de cartes. Leur publication intervient dans le cadre de la politique générale de prévention des risques. Elle ne constitue pas, en elle-même, un document à valeur réglementaire. Seuls les Plans de Prévention des Risques Inondations de la Loire présentent ce caractère réglementaire.

Les Atlas sont établis à partir des relevés des événements historiques (quand ils sont connus) et d'études de modélisation.

Pour chaque vallée, un Atlas comporte généralement : une notice explicative, une carte générale de repérage (1/200.000e) et une série de cartes thématiques (1/25.000e) sur lesquelles sont reportées les surfaces recouvertes.

II) Calcul et estimation des vitesses pour les bases de données du réseau de transport en période normale et en période d'inondation

Calcul des vitesses dans la base de données du réseau de transport (Bd Rdt)

La base de données du réseau routier ne possédait pas de champ renseignant sur la longueur des arcs. Un calcul automatique disponible sur le logiciel a permis de déterminer cet élément : clic droit sur le champ nouvellement créé puis « calculate géométrie ». Les longueurs se déterminent suivant le système de coordonnées utilisé et les unités voulues, ici le mètre.

Concernant les vitesses, c'est ici le champ dont les imprécisions sont les plus notables. En effet, comme précisé plus haut, cette base ne disposait pas directement des vitesses de parcours, mais le type de voirie (nombre de voies et importance de l'axe). C'est d'après ces deux champs que les vitesses ont été proposées.

Dans le champ du nombre de voies (« voies »), se trouvait : « », c'est-à-dire non renseigné, mais visiblement concernant de petites allées en périphérie, puis « 1 voie », « 2 voies », « 3 voies », « 4 voies » ou « plus de 4 voies ». Dans le champ de l'importance (« importance »), nous trouvons : « », c'est-à-dire non renseigné, « Autre », « Principale » et « Secondaire ». De plus il est possible de savoir de l'axe s'il s'agit d'une nationale, départementale ou autoroute. D'après ces renseignements, et par estimation personnelle, il est proposé comme classement :

- Pour les autoroutes : 130km/h (36,1m/s) en considérant cette valeur comme une moyenne : s'il peuvent dépasser cette vitesse sur certaines zones, le fait d'être en zone urbaine rend le trafic plus dense.
- Pour les 2 voies d'importance première et les plus de 4 voies n'étant pas de l'autoroute : 90 km/h (25m/s).
- Pour les 4 voies d'importance principale, les 3 voies et les 2 voies d'importance secondaire : 70 km/h (19,4 m/s)
- 4 voies d'importance non principale et 2 voies d'importance autre : 50 km/h (13,9 m/s)

- 1 voie ou « » : 20 km/h (5,5 m/s)

Ces valeurs sont saisies en m/s car les distances des arcs étant en mètre, le calcul est ainsi plus rapide.

Un champ « coût » est par la suite créé. Il correspond au temps en seconde pour parcourir l'arc. Ce champ est un calcul de la longueur divisé par la vitesse nouvellement saisie.

Calcul des vitesses dans la base de données du réseau de transport inondé (Bd RdT inond)

En cas d'inondations, dans ce PFE, il sera dissocié trois classes de hauteur d'eau. Les vitesses en cas de crue sont déterminés quelque soit le type de route inondé, donc sans prendre en compte les vitesses initiales :

- entre 0 et 30 cm : les voitures classiques circulent, mais leur vitesse est réduite. En moyenne (que ce soit en zone urbaine ou périphérique) nous l'estimons à 50 km/h (13,9 m/s),
- Entre 30 cm et 50 cm : uniquement les camions citernes et les 4x4 sont utilisés. Compte tenu de la hauteur d'eau importante, en moyenne, la vitesse de ces engins est de 30 km/h (8,3 m/s)
- Au-delà de 50 cm : seuls les embarcations peuvent se déplacer. Les canots sont tous motorisés. La vitesse de tels canots est estimée à 25 km/h (6,9 m/s)

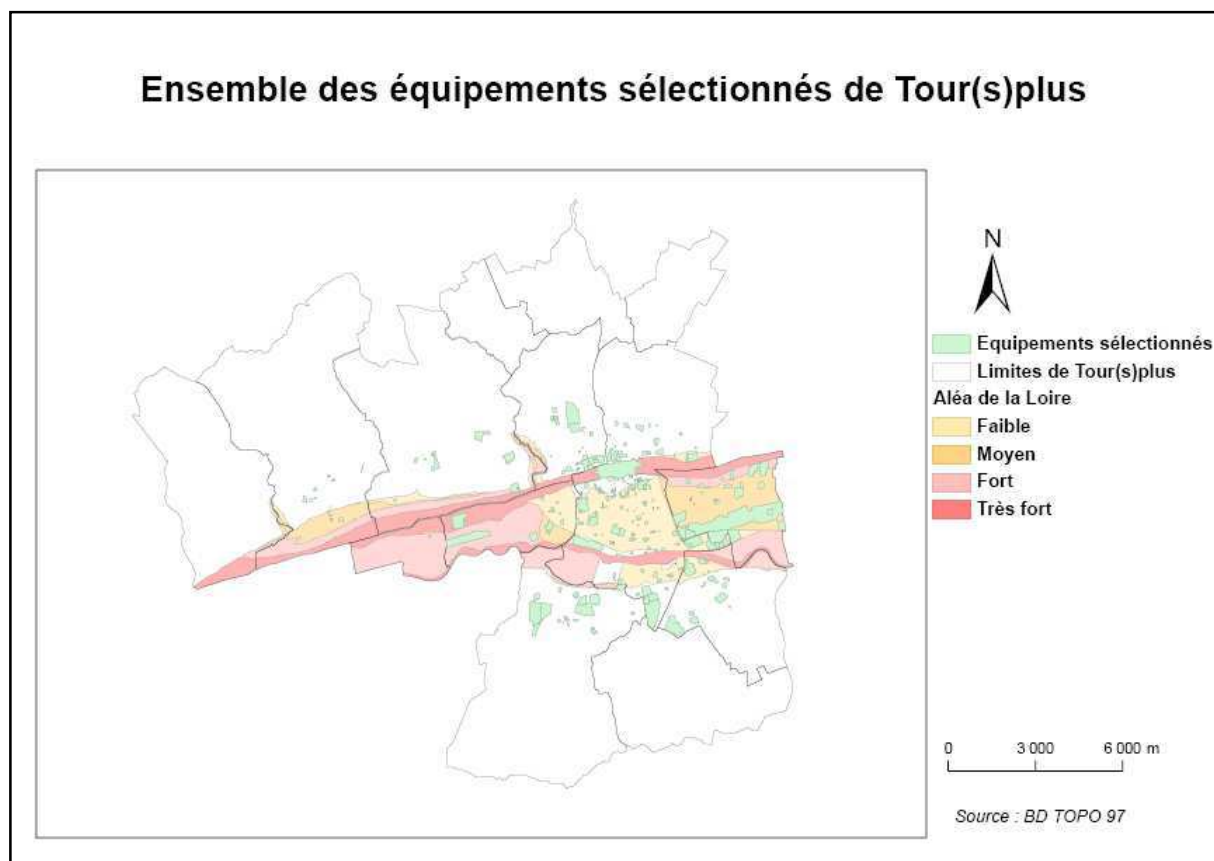
III) Sélection des enjeux

La sélection des équipements

Il convient donc d'effectuer une première sélection basée sur la géographie.

Pour commencer, sur l'ensemble de ces équipements, nous pouvons considérer qu'une partie se situe en zone non inondable, donc sans intérêt particulier pour ce PFE. En effet, ces bâtiments n'auront aucun risque particulier lié à une éventuelle inondation.

Nous pouvons ainsi sélectionner ceux se situant à moins de 2,3 km d'une zone d'aléa non nulle grâce à ArcMap. Concrètement, cette valeur de 2,3 km est celle par défaut sur ce logiciel lorsque l'on effectue ce type de sélection par localisation. En effectuant ce premier choix, il est apparu que cette distance était raisonnable.

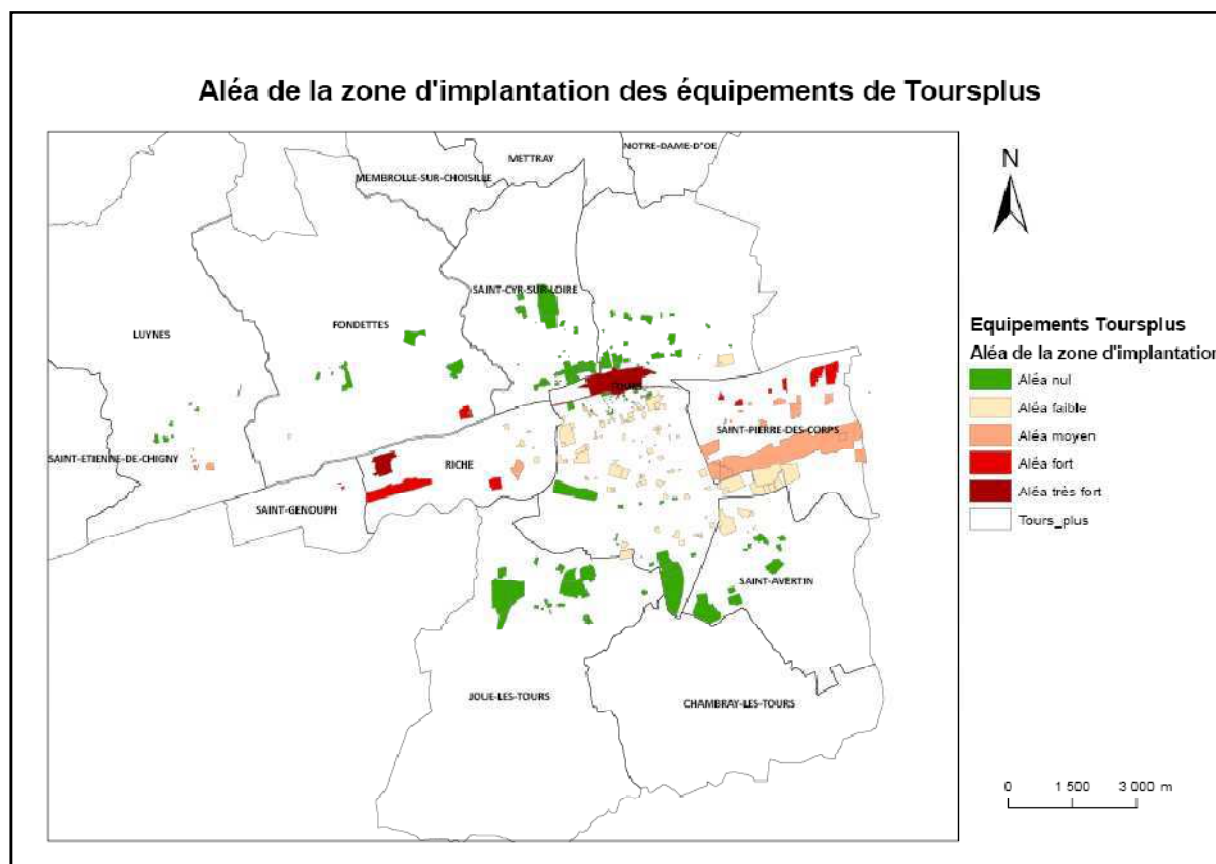


Il nous reste ainsi 345 équipements, dont :

- 173 en zone d'aléa nul,
- 127 en zone d'aléa faible,
- 30 en zone d'aléa moyen,
- 12 en zone d'aléa fort,
- 3 en zone d'aléa très fort.

Ce nombre est encore important. Nous pouvons par la suite effectuer une seconde sélection basée sur la fragilité de l'aléa.

Nous pouvons alors effectuer une représentation selon l'aléa de la zone sur laquelle les équipements sont implantés afin d'évaluer les plus fragiles de ceux ne craignant aucun danger.



Les équipements les plus fragiles sont donc ceux situés sur une zone d'aléa moyen fort ou très fort, principalement situés à St-Pierre-des-Corps et La Riche. Il y en a 45 dont :

- 2 pompiers, 1 police et 1 gendarmerie
- 2 mairies, 2 Postes et 1 bâtiment public
- 11 écoles primaires, 3 lycées/collèges, et 2 enseignements supérieurs
- 3 centres commerciaux
- 1 piscine, 2 stades et 1 camping
- 10 usines/bâtiments en zone industrielle et 1 carrière
- 2 sites classé/monuments historiques

Nous pouvons encore affiner la sélection. Si l'on se restreint aux zones d'aléa fort et très fort, on obtient 15 équipements dont :

- 1 gendarmerie
- 1 mairie
- 4 écoles primaires et 2 enseignements supérieurs

- 4 usines/bâtiments en zone industrielle et 1 carrière
- 2 sites classé/monuments historiques

Cette sélection est d'importance correcte. En effet, l'objectif était d'avoir entre 10 et 15 enjeux. Cependant, sur les équipements sélectionnés finaux certains sont difficilement utilisables.

Concernant les sites classés ou monuments historiques, même si la question de la sauvegarde du patrimoine est intéressante, leur étude est problématique. Premièrement, le site classé correspond à la Loire et ses proches environs de part et d'autre du Pont Wilson. Ainsi, il est difficile d'imaginer la vulnérabilité d'un site non construit et dont la population est à relativiser étant donnée qu'il interdit et presque impossible de se baigner dans la Loire. Ainsi, hormis les bords de Loire à proprement dit (mais considéré comme intégrante du réseau routier et non du bâti), il est difficile de remplir les caractéristiques demandées sur cette zone. Même si l'étude de la population ambulante sur les bords de Loire et « surpris » par une inondation pourrait être intéressante, ceci relèverait plus d'une étude de sauvetage de la population mis en danger par le courant et la hauteur d'une crue soudaine, ce qui ne rentre pas dans le champ de ce PFE. Ensuite, le monument historique concerné correspond à une statue dont le risque, comparé au risque humain est minime. Cet élément ne sera donc pas étudié.

Enfin, sur les 2 enseignements supérieurs cités ci-dessus, l'un deux, à Saint-Cyr (IUFM) est catégorisé en aléa fort car une petite partie du périmètre est dans cette dernière zone. A la sélection, il a donc été assimilé à un aléa fort. Cependant, après étude sur le terrain, il est apparu que sa position sur le coteau nord à une certaine hauteur le protégeait d'une forte inondation. Il a donc été décidé de ne pas l'intégrer aux enjeux.

A l'opposé, certains équipements, non nécessairement basés sur des zones d'aléa important, mais d'une importance stratégique pouvaient se retrouver dans ces enjeux.

Il s'agit de la Préfecture, de l'hôpital Bretonneau et de l'hôpital Clocheville.

Le choix de les intégrer se justifie d'une part du fait de leur aléa non nul, c'est-à-dire qu'en cas d'inondation exceptionnelle (type 1846), ces enjeux pourraient se retrouver en situation problématique : le site de leur implantation a au moins été inondé une fois. Ce cas est donc encore probable. De plus, leur importance stratégique les rend particulièrement vulnérable d'un point de vue de l'organisation des secours. Si la tête de l'organisation est défaillante, le déploiement des secours sera perturbé.

Il est à noter qu'il n'a pas été choisi de sélectionner comme enjeux les postes de secours eux-mêmes. En effet, un se trouve en zone d'aléa faible ; par un même raisonnement que précédemment, il aurait été possible de sélectionner ce poste comme un enjeu, sachant que si la flotte de véhicule est troublée par le courant, il est difficile d'effectuer des sauvetages. Mais étant donné que l'objectif du PFE est l'étude de la vulnérabilité en termes d'accessibilité, il aurait été difficile de conclure une mauvaise accessibilité entre un bâtiment et lui-même. Cet enjeu ne sera donc pas pris en compte.

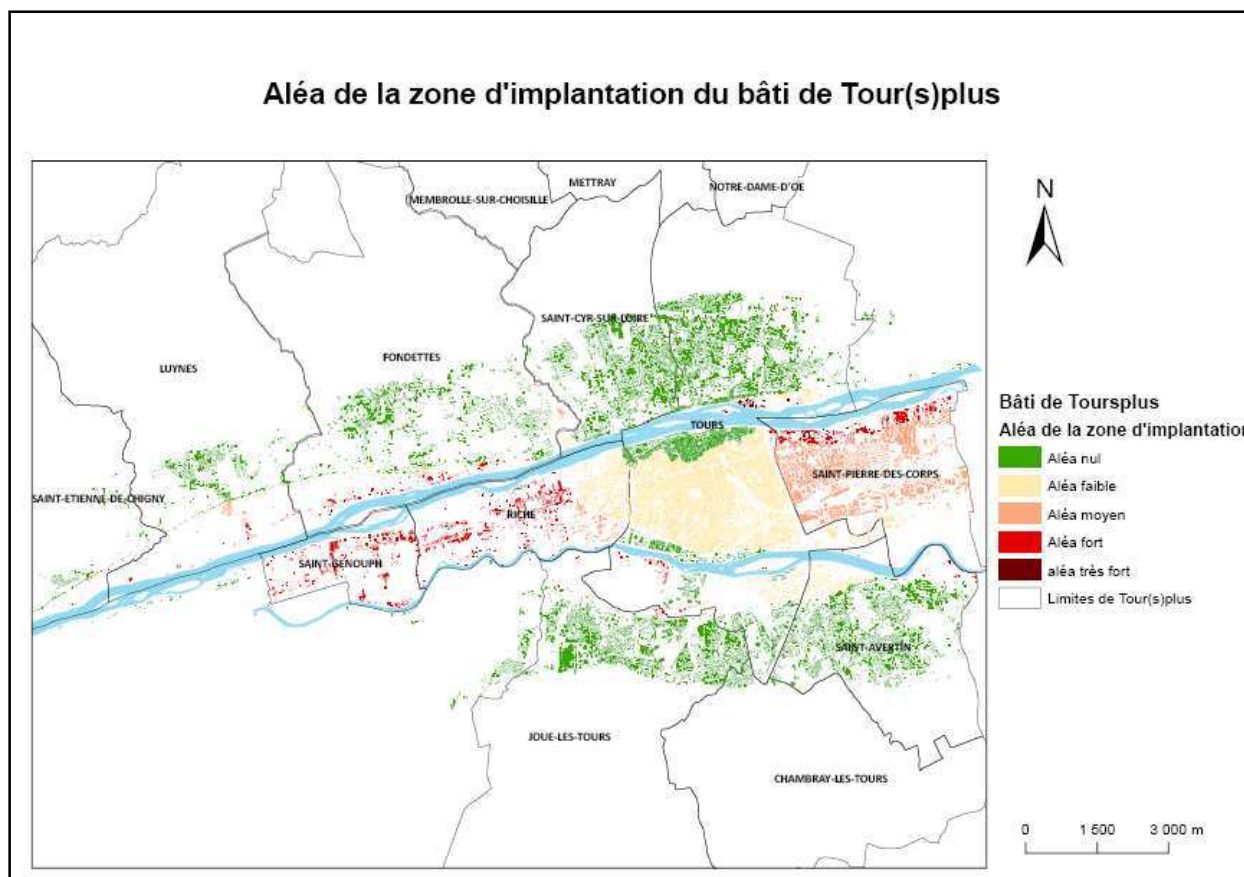
Pour résumer, il reste 10 enjeux concernant les équipements :

- 1 gendarmerie
- 1 mairie
- 4 écoles primaires et 1 enseignement supérieur
- 1 préfecture
- 2 hôpitaux

La sélection des habitations

Si par le même principe que précédemment nous sélectionnons les bâtiments à proximité relative d'une zone d'aléa non nulle, le reste étant considéré comme de risque quasi-nul, nous obtenons 28 210 bâtiments dont :

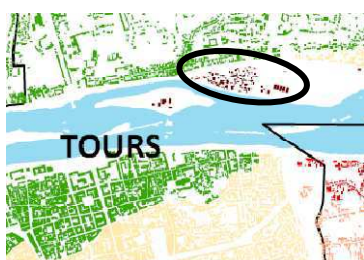
- 18 133 en zone d'aléa nul,
- 5 291 en zone d'aléa faible,
- 2 464 en zone d'aléa moyen,
- 2 050 en zone d'aléa fort,
- 272 en zone d'aléa très fort.



De même que pour les équipements, nous ne pouvons obtenir toutes les informations concernant ces bâtiments. Concentrons-nous alors sur les plus fragiles.

Il y a quatre grandes zones concernant des bâtiments implantées en zone d'aléa très fort :

- A Saint-Pierre-des-Corps, au sud de l'île aux vaches, entre la Loire et la D751 (Quai de la Loire ou Rue des Tanneurs). Cependant ces constructions sont classées « légères ». Elles ne présentent donc pas de risque important.



- Au sud du Quai Paul Bert et à l'ouest du pont Mirabeau. Il y a là une zone résidentielle relativement importante d'une soixante-dizaine de maisons, avec 5 salles de sports.



- Une vingtaine de bâtiments au sud de Saint-Cyr-sur-Loire entre le Quai des Maisons blanches et la Place des Terreaux.



- Un nombre important de bâtiments à La Riche, entre l'Allée de la Loire et le chemin de Grévioux. Une importante majorité est des bâtiments de type agricole ou des constructions légères. Une dizaine est des bâtiments quelconques.

A partir de ces données, nous pouvons sélectionner les zones d'habitations qui intégreront les enjeux. Toutes ces zones sont en situation fragiles ; cependant, pour deux d'entre elles, celle de Saint-Pierre et celle de La Riche, la majorité des bâtiments se composent de locaux à dominante agricole ou industrielle. Nous ne les prendrons donc pas comme enjeux étant donné que nous privilégions le risque humain. Nous sélectionnons ainsi la zone résidentielle de Tours Nord et l'îlot d'habitations de Saint-Cyr.

CITERES
UMR 6173
Cités, Territoires,
Environnement et
Sociétés

Equipe IPA-PE
Ingénierie du Projet
d'Aménagement,
Paysage,
Environnement



Département Aménagement
35 allée Ferdinand de Lesseps
BP 30553
37205 TOURS cedex 3

Directeur de recherche :

Serrhini Kamal

Ducrocq Jessica

Projet de Fin d'Etudes
DA5

2007-2008

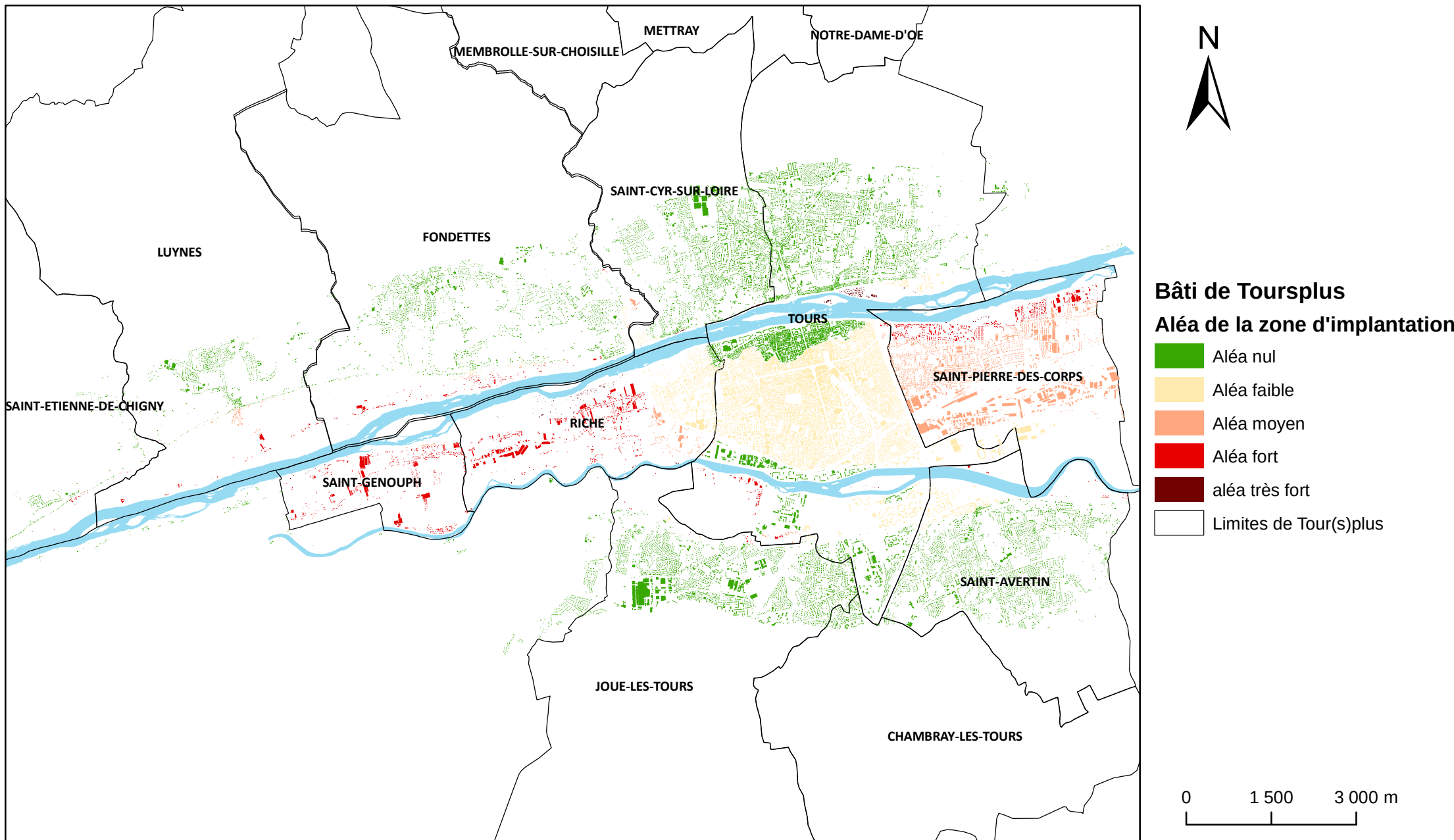
Résumé :

En cas d'inondation, la montée des eaux sur le réseau routier limite l'intervention des secours. Les agglomérations possédant un Plan de Prévention des Risques d'Inondation souhaitent donc améliorer leur système en matière de prévention, de préparation et de gestion du risque. Ce projet de fin d'études a donc pour but d'évaluer les zones difficiles d'accès en période d'inondation, d'identifier sur ces zones des enjeux sensibles (maison de retraite, école, hôpital...), et d'étudier le temps et les moyens à mettre en œuvre (type de véhicule, embarcations...) afin de secourir des biens et des personnes. Le projet s'inscrit dans la problématique du développement durable en termes de prévention, de préparation puis de gestion d'une crise d'inondation.

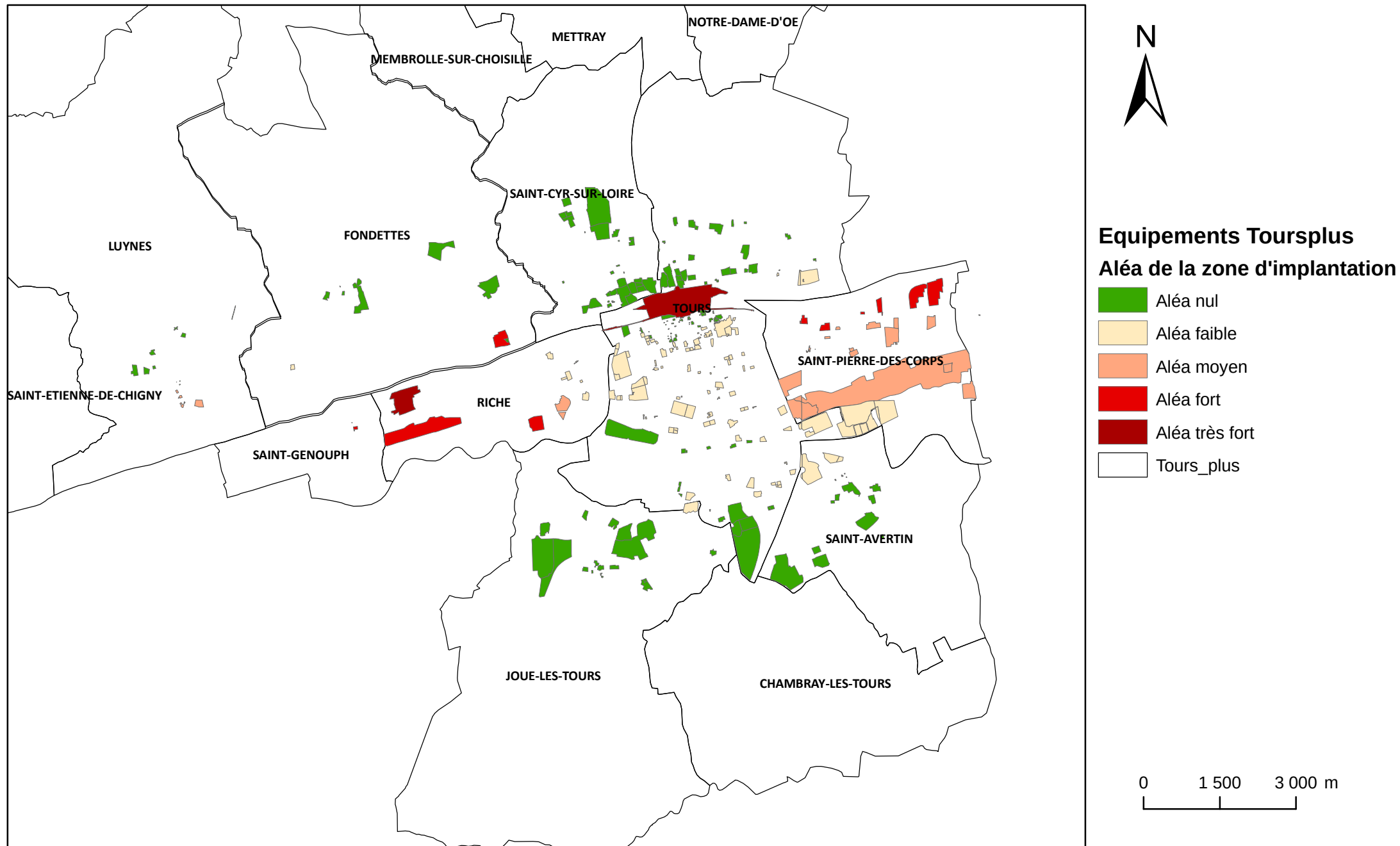
Mots clés +mots géographiques

Agglomération de Tours, département 37, Région Centre. Accessibilité, réseaux de transport urbain, vulnérabilité, préparation de crise, inondation, secours.

Aléa de la zone d'implantation du bâti de Tour(s)plus



Aléa de la zone d'implantation des équipements de Toursplus



Hauteurs de submersion des voiries de Tour(s)plus en cas d'ondation de 2 m

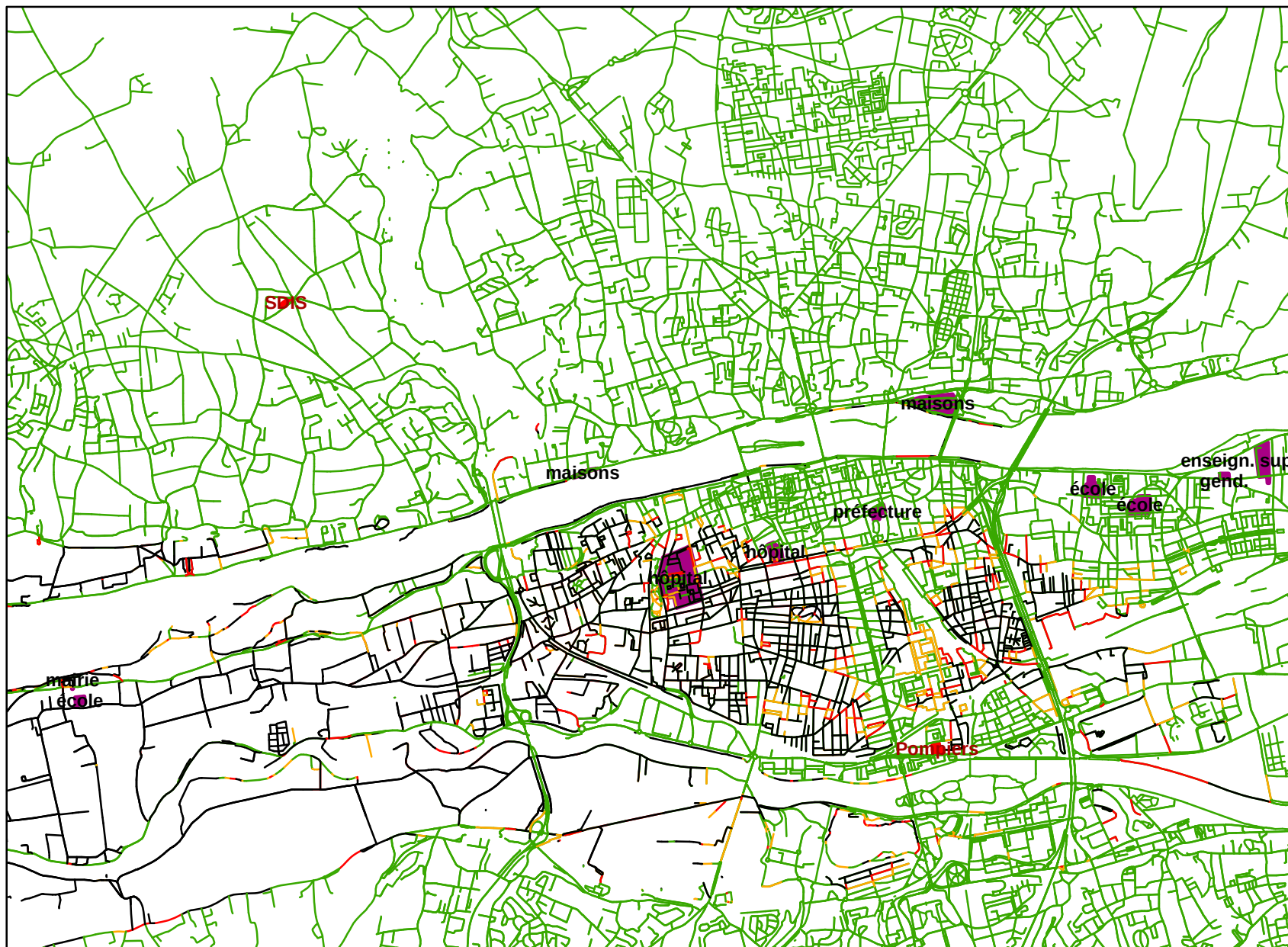


Hauteur de submersion de la voirie

- Plus de 0,5 m
- Entre 0,3 et 0,5 m
- Entre 0,3 et 0 m
- Aucune submersion
- Equipes de secours
- Enjeux

0 1 000 2 000 m

Hauteurs de submersion des voiries de Tour(s)plus en cas d'ondation de 3,7 m

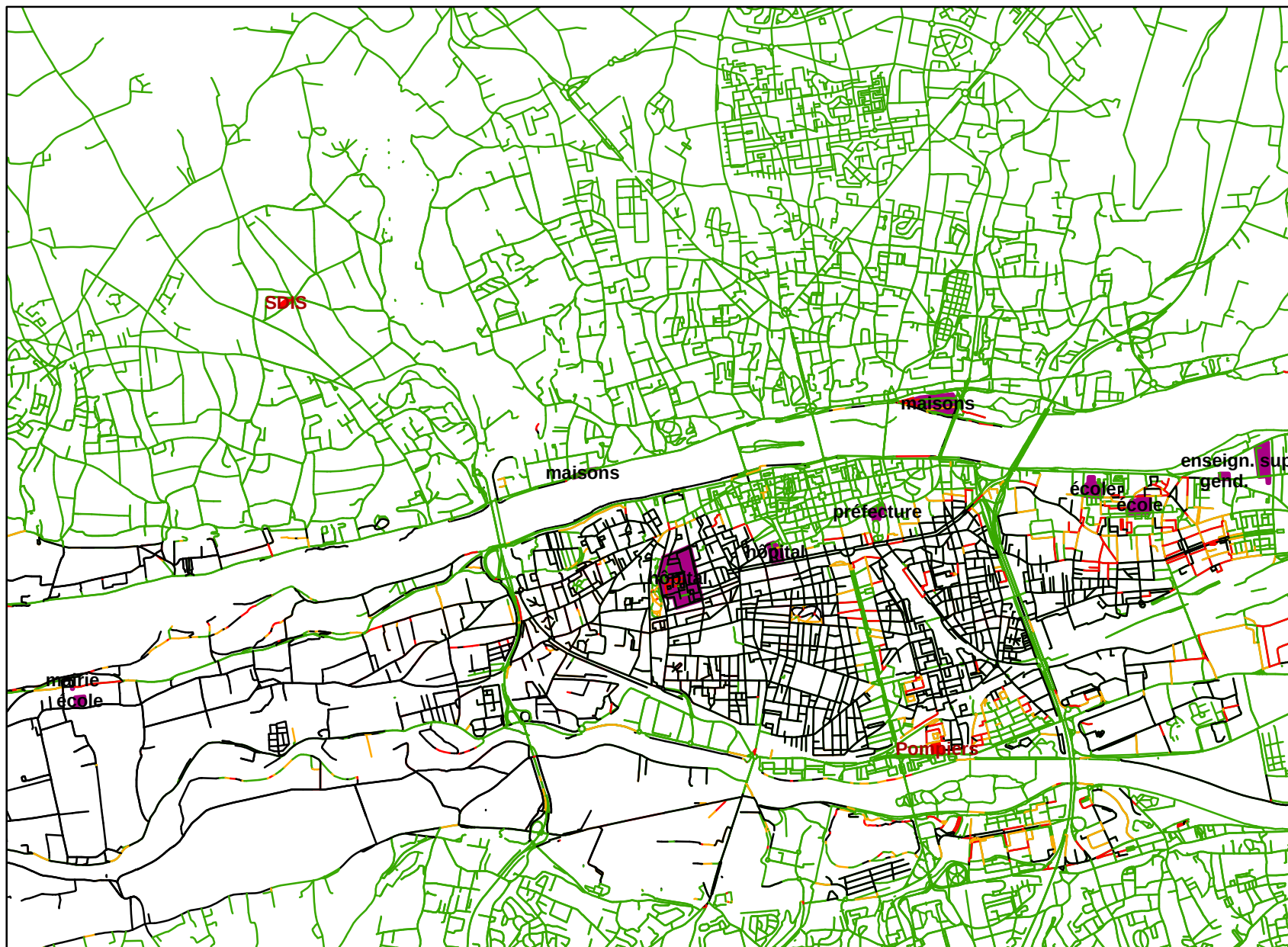


Hauteur de submersion de la voirie

- Plus de 0,5 m
- Entre 0,3 et 0,5 m
- Entre 0,3 et 0 m
- Aucune submersion
- Equipes de secours
- Enjeux

0 1 000 2 000 m

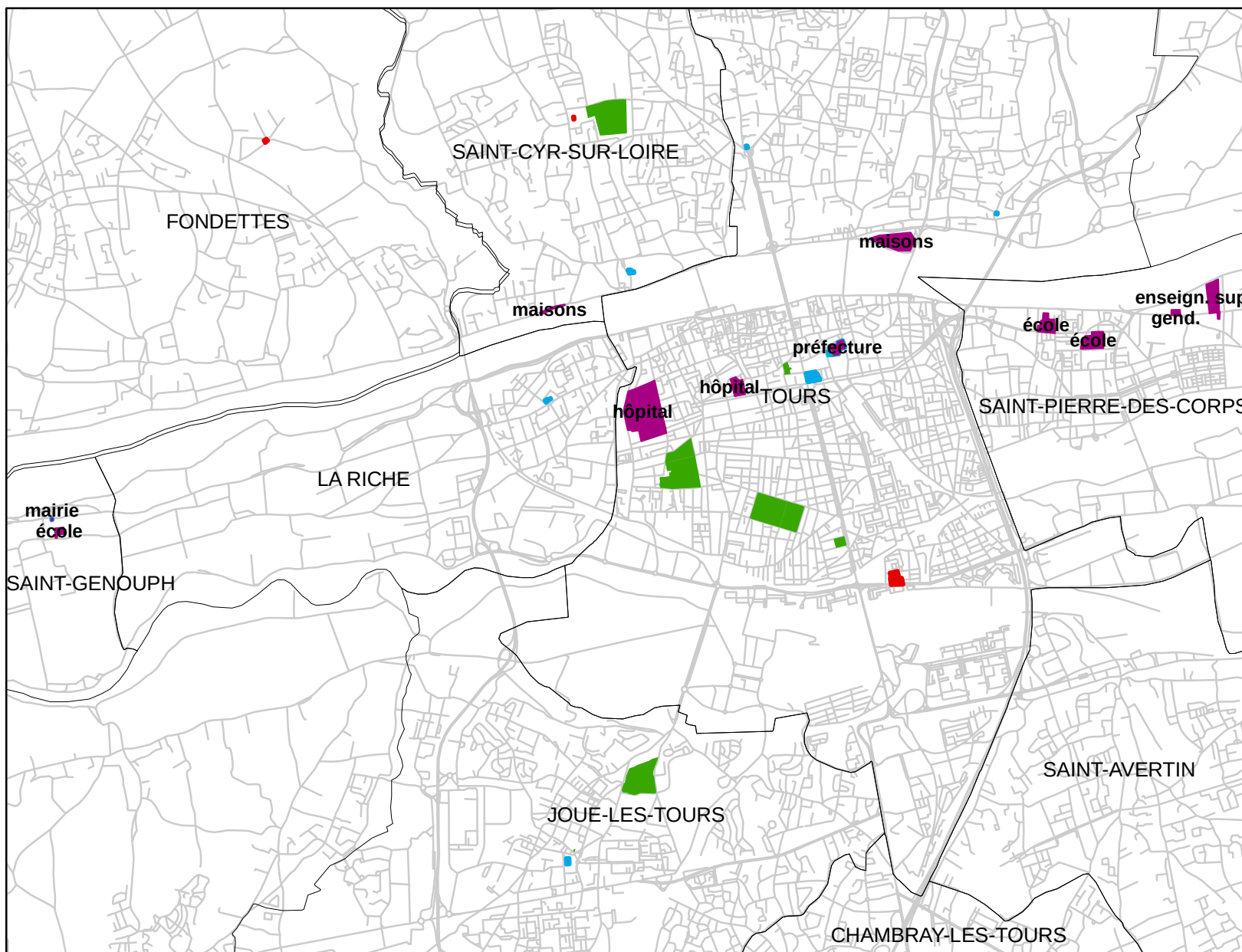
Hauteurs de submersion des voiries de Tour(s)plus en cas d'inondation de 4,5 m



Hauteur de submersion de la voirie

- Plus de 0,5 m
- Entre 0,3 et 0,5 m
- Entre 0,3 et 0 m
- Aucune submersion
- Equipes de secours
- Enjeux

Principaux enjeux localisés et équipements stratégiques en cas d'inondations



- Principaux enjeux localisés
- Pompiers
- Administration
- Forces militaires, police
- Limites de Tour(s)plus
- Réseaux routier

0 1 000 2 000 m

Réseau routier de Tour(s)plus

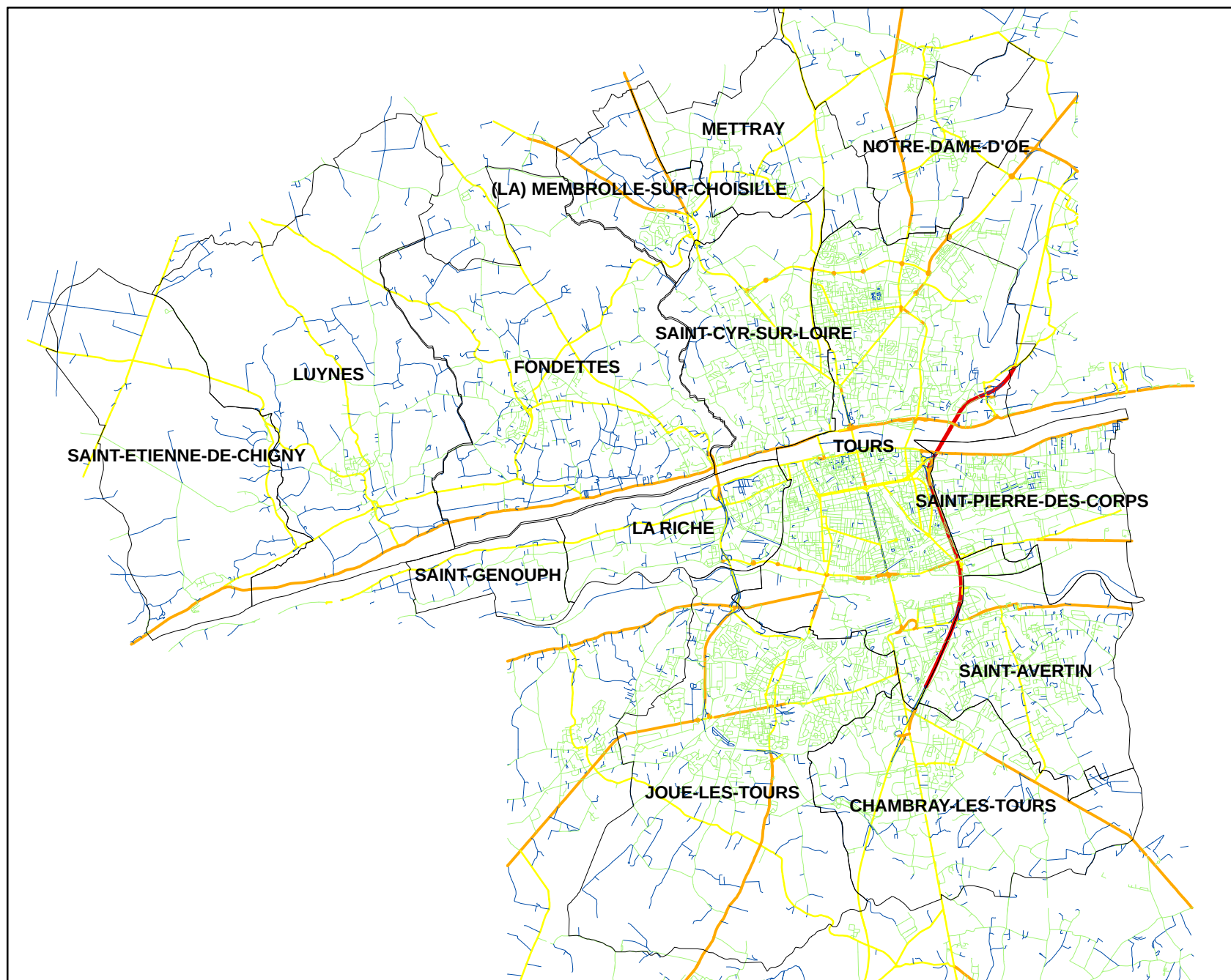


— Réseau routier
— Limites de Tour(s)plus

0 3 000 6 000 m

Source : BD TOPO 97, IGN

Vitesse établie sur le réseau routier de Tour(s)plus



Réseau routier

Vitesse

150 km/h

90 km/h

70 km/h

50 km/h

20 km/h

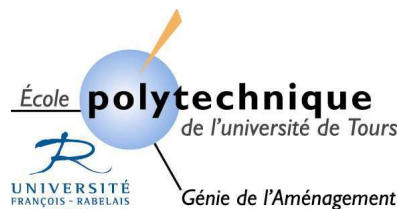
Limites de Tour(s)plus

0 2 000 4 000 m

Source : BD TOPO 97, IGN

CITERES
UMR 6173
Cités, Territoires,
Environnement et Sociétés

Equipe IPA-PE
Ingénierie du Projet
d'Aménagement, Paysage,
Environnement



Département Aménagement
35 allée Ferdinand de Lesseps
BP 30553
37205 TOURS cedex 3

Directeur de recherche :
Serrhini Kamal

Ducrocq Jessica
Projet de Fin d'Etudes
DA5
2007-2008

Résumé :

En cas d'inondation, la montée des eaux sur le réseau routier limite l'intervention des secours. Les agglomérations possédant un Plan de Prévention des Risques d'Inondation souhaitent donc améliorer leur système en matière de prévention, de préparation et de gestion du risque. Ce projet de fin d'études a donc pour but d'évaluer les zones difficiles d'accès en période d'inondation, d'identifier sur ces zones des enjeux sensibles (maison de retraite, école, hôpital...), et d'étudier le temps et les moyens à mettre en œuvre (type de véhicule, embarcations...) afin de secourir des biens et des personnes. Le projet s'inscrit dans la problématique du développement durable en termes de prévention, de préparation puis de gestion d'une crise d'inondation.

Mots clés +mots géographiques

Agglomération de Tours, département 37, Région Centre.

Accessibilité, réseaux de transport urbain, vulnérabilité, préparation de crise, inondation, secours.