

Projet de Fin d'Etudes

**La connaissance de la vulnérabilité
indirecte du réseau de transport
routier pour une meilleure gestion
du risque d'inondation**



2009-2010

Directeur de recherche
SERRHINI Kamal

AUROY Diane-Claire
DORCEUS Rébecca-Valéry
SEBIROU Anne-Claire

**La connaissance de la vulnérabilité
indirecte du réseau de transport
routier pour une meilleure gestion
du risque d'inondation**

2009-2019

**Directeur de recherche
SERRHINI Kamal**

**AUROY Diane-Claire
DORCEUS Rébecca-Valéry
SEBIROU Anne-Claire**

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.

L'auteur (les auteurs) de cette recherche a (ont) signé une attestation sur l'honneur de non plagiat.

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.

REMERCIEMENTS

Nous adressons nos remerciements à Monsieur K. SERRHINI pour nous avoir encadré tout au long ce projet de recherche et nous avoir permis de mener à bien notre travail. Au-delà de l'expérience qu'il nous a fait partager, nous retiendrons surtout la richesse des échanges que nous avons eus tout au long de ces semaines de travail.

Merci aux différents acteurs qui nous ont accordés un entretien et nous ont permis ainsi d'enrichir notre travail de leurs connaissances : (par ordre alphabétique)

- Monsieur Jean FOUCHER, Chef du Bureau de la Protection Civile, Adjoint au Chef du Service Interministériel de la Défense et de Protection Civile, Préfecture d'Indre-et-Loire
- Monsieur Olivier SCHAMPION, Chargé d'études transport à l'Agence d'Urbanisme de Tours (ATU)
- Commandant Bernard THIELIN, SDIS 37
- Monsieur J.P. Verrière, responsable de l'unité défense-crise transport à la DDT Centre

PREAMBULE

Ce travail de fin d'études s'inscrit dans le cadre de la 3^{ème} année d'un projet de recherche mené à l'Université de Technologie de Compiègne ayant pour titre ACCEL et dans la suite de l'atelier-projet de 2010 sur la vulnérabilité du SCoT de Tours.

Le projet ACCEL (ACCessibilité d'Enjeux Localisés) a pour but l'évaluation de l'impact des inondations sur le réseau routier urbain à travers la quantification de l'évolution spatio-temporelle de l'accessibilité d'enjeux localisés stratégiques. Il compte sur l'intégration des acteurs qui aideront à la collecte des bases de données existantes et à l'élaboration des différents critères déterminant les enjeux majeurs.

L'atelier-projet 2010 qui avait pour objectif de déterminer la vulnérabilité du territoire du SCoT de l'agglomération de Tours face au risque d'inondation a été mené en collaboration avec les acteurs de terrain. Ils ont partagé avec nous leur connaissance du territoire et leur recul par rapport à l'utilisation du Plan de Prévention des Risques d'Inondation (PPRI) comme document de base de qualification des inondations qui ne reflétait nullement la réalité.

Dans ce travail, les calculs de vulnérabilité face aux risques d'inondation se basent sur le scénario des Plus Hautes Eaux Connues (PHEC) modélisé à partir de la crue de 1856. Il constitue la seule base de travail dont nous disposons même s'il est sûrement à remettre en question. En effet, les niveaux d'eau pris en compte dans ce scénario ne surviennent que si plusieurs ruptures de digues ont lieu or, depuis 1856, l'environnement de la Loire a changé, il y a eu création de barrages, renforcement et création de digues et le niveau du lit de la Loire a évolué (ensablement).

Dans ce travail, l'accent a été porté sur la reproductibilité des analyses (méthodologie). En effet, même si le scénario étudié est contestable, les démarches restent pertinentes car elles sont reproductibles avec d'autres scénarios.

Pour permettre d'approfondir cette connaissance de la vulnérabilité du territoire, ce travail de fin d'études est réalisé par 3 étudiantes du département aménagement. En effet, la vulnérabilité est abordée sous trois approches qui font chacune l'objet de travail d'une étudiante. Ce sont :

- Approche multicritère : Diane-Claire AUDOY
- Approche accessibilité: Anne-Claire SEBIROU
- Approche optimisation : Rébecca-Valéry DORCEUS

SOMMAIRE

AVERTISSEMENT	4
FORMATION PAR LA RECHERCHE ET PROJET DE FIN D'ETUDES	5
REMERCIEMENTS.....	6
PREAMBULE	7
SOMMAIRE.....	8
INTRODUCTION.....	11
PARTIE 1 : L'ETAT DES LIEUX.....	15
1. Le territoire d'étude, à la croisée d'enjeux majeurs et d'une zone inondable 16	
2. De la notion d'aléa à celle de risque d'inondation.....	18
3. La vulnérabilité du réseau de transport routier	29
4. L'analyse des travaux existants	32
5. Synthèse	37
PARTIE 2 : VERS UNE CONNAISSANCE DE LA VULNERABILITE DU TERRITOIRE	39
1. L'accessibilité, un critère de la vulnérabilité	40
2. Hiérarchisation des enjeux et des IRIS à évacuer, approche multicritère....	58
3. Synthèse	89
PARTIE 3 : L'EVACUATION PREVENTIVE DE LA POPULATION	91
1. Une approche d'optimisation pour une meilleure gestion de la crise.....	92
2. Evacuation des enjeux vulnérables	94
3. Evacuation préventive de la population (hors enjeux vulnérables)	106
4. Une démarche qui vise à optimiser l'organisation de l'évacuation	117

CONCLUSION.....	118
BIBLIOGRAPHIE	120
LISTE DES FIGURES	125
LISTE DES TABLEAUX.....	126
LISTE DES CARTES	127
LISTE DES CARTES.....	127
TABLE DES MATIERES	128
ANNEXES.....	131

INTRODUCTION

Les inondations, manifestations du cycle terrestre de l'eau ont depuis toujours façonné les paysages et jalonné la mémoire des peuples car certains les vénèrent, d'autres les craignent. Aujourd'hui, les sociétés n'ont plus la mémoire des inondations, de ce fait leur manifestation apparaisse comme brutale dans des espaces envahis par des enjeux tant humains que matériels.

En France, les inondations sont le phénomène naturel le plus dangereux et aux conséquences économiques les plus lourdes¹. Réduire celles-ci nécessite d'agir à la fois sur leur caractère imprévisible et leur potentiel destructeur. Les inondations ont été longtemps traitées dans une optique d'éradication des risques avec un ensemble de mesures structurelles (réseaux d'évacuation des eaux pluviales, ouvrages de génie civil).

Les dégâts causés par les inondations dépendent de leur ampleur mais également du mode d'occupation des sols et de la capacité de la population à y faire face. L'importance de ces dommages traduit la vulnérabilité des espaces inondés². Aujourd'hui on s'intéresse de plus en plus à cette notion de vulnérabilité qui permet d'appréhender toutes les composantes de la vie en d'autres termes tous les enjeux d'un territoire. Notre travail s'inscrit donc dans cette optique d'évaluation de la vulnérabilité.

Dans ce contexte comment pouvons-nous déterminer la vulnérabilité des enjeux majeurs d'un territoire inondable pour permettre une organisation et une gestion efficace en situation de crise ?

Beaucoup de travaux³ ont été réalisés sur la connaissance ou l'évaluation de la vulnérabilité des enjeux des territoires inondables, mais peu d'entre eux ont été consacré à la vulnérabilité des réseaux urbains. Or la mise en réseau est la base des échanges (flux de personnes, de matières, d'énergie, d'information) à l'intérieur d'un territoire.

Les réseaux urbains constituent donc des enjeux majeurs pour les sociétés car ils offrent des possibilités d'interaction, de connexion et de communication. De ce fait, au-delà de la fragilité des différents éléments constitutifs d'un réseau se profile une certaine fragilité de la société dont l'activité est centrée sur les réseaux.

Le réseau routier qui en période normale permet de se déplacer d'un point à un autre du territoire (accessibilité spatiale) sur une durée donnée (accessibilité temporelle) peut devenir un facteur de risque pour ses utilisateurs. En effet, en période d'inondation une

¹ LESCURE, 2004

² GILBERT (Claude).-La vulnérabilité : une notion vulnérable A propos des risques naturels.-

³ Travaux de Gilbert LEDOUX sur la gestion du risque d'inondation, de Yannick MANCHE sur le risque d'inondation

partie du réseau routier peut se retrouver submergée par les eaux et sera donc inopérante. Les utilisateurs devront donc trouver un chemin de délestage.

Le réseau routier est aussi la base de l'organisation de la sécurité civile en période de crise. En cas de crue le réseau routier devient l'un des éléments importants de gestion de crise car il permet non seulement l'évacuation ou le secours de la population mais aussi les déplacements pour la remise en état d'autres réseaux, d'autres enjeux. La connaissance de la fragilité de cet enjeu majeur s'avère donc nécessaire pour évaluer l'impact direct et indirect d'un aléa.

Objet de la recherche

Dans une société préoccupée par les menaces qui pèsent sur les réseaux de transport routier,

comment appréhender, formaliser et évaluer la vulnérabilité des réseaux de transport routier face au risque d'inondation ?

Comment apprécier la vulnérabilité du réseau routier et en tirer partie pour la protection des territoires ?

Cette thématique d'étude est doublement pertinente car elle nécessite d'une part un travail de conceptualisation de la notion de vulnérabilité des réseaux de transport et d'autre part l'évaluation de cette vulnérabilité.

Démarche (voir figure 1)

Pour répondre à ces questions nous proposons dans la partie 1, de formaliser les concepts liés au risque. Cette partie est consacrée à l'élaboration de notre problématique, nous montrons que la vulnérabilité découle de la décomposition du risque en aléa (phénomène) et enjeux (entités menacées) et que la vulnérabilité traduit la sensibilité des enjeux à l'aléa.

Sur la base de ce travail de conceptualisation, dans la partie 2 on entreprend d'établir une méthodologie pour la détermination de la vulnérabilité du territoire. Les premiers chapitres consacrés à l'approche «accessibilité» permettront d'apprécier la vulnérabilité du réseau routier suite à des dysfonctionnements dus aux inondations et de montrer l'évolution de l'accessibilité dans ces conditions. Dans les autres chapitres, l'approche «multicritère» va permettre d'élaborer une classification des enjeux selon leur degré de vulnérabilité.

Dans la partie 3, nous essayerons de donner un sens à cette connaissance de la vulnérabilité du territoire. Avec une approche d'«optimisation», on va montrer que la connaissance de la vulnérabilité est essentielle pour organiser la gestion de crise avant et pendant une période de crue. Pour cela on se penchera sur le problème d'évacuation préventive de la population.

Partie 1

Etat de l'art sur le risque d'inondation et la vulnérabilité du réseau de transport routier

Partie 2

**Approche
« accessibilité »**

Echelles :
communes,
IRIS, enjeux

Calcul d'accessibilité :

- sélection des centres de secours
- sélection des centres d'accueil de la

Accessibilité avant
et pendant les
inondations

**Approche
« multicritère »**

Enjeux, IRIS

Méthode multicritère :

- choix des critères utilisés
- choix des pondérations
- implémentation dans

Electre

Enjeux
hiérarchisé

IRIS
hiérarchisé

**Vulnérabilité des communes, des
IRIS et des enjeux**

Partie 3

**Approche
« optimisation »**

Choix d'une commune et des enjeux
vulnérables à évacuer

Démarches d'optimisation

- Centre de secours
- Lieux d'accueil
- Itinéraires minimaux pour l'évacuation
- Tournées de véhicules

- Zones d'accueil
- Zones d'évacuation
- Itinéraires minimaux pour l'évacuation
- Ordre d'évacuation

**Elaboration d'une
feuille de route
(enjeux)**

**Elaboration d'un
plan d'évacuation
(commune)**



Thèmes abordés



Données de départ



Résultats obtenus



Synthèse des résultats



Utilisation des résultats



Aide à la sélection

Figure 1 : Schéma d'organisation du PFE

PARTIE 1 : L'ETAT DES LIEUX

1. Le territoire d'étude, à la croisée d'enjeux majeurs et d'une zone inondable

Ce premier chapitre vise à présenter le territoire d'étude. La section 11, est consacrée à la description du Val de Tours et la section 12 porte sur le périmètre d'étude.

11. La description du Val de Tours⁴

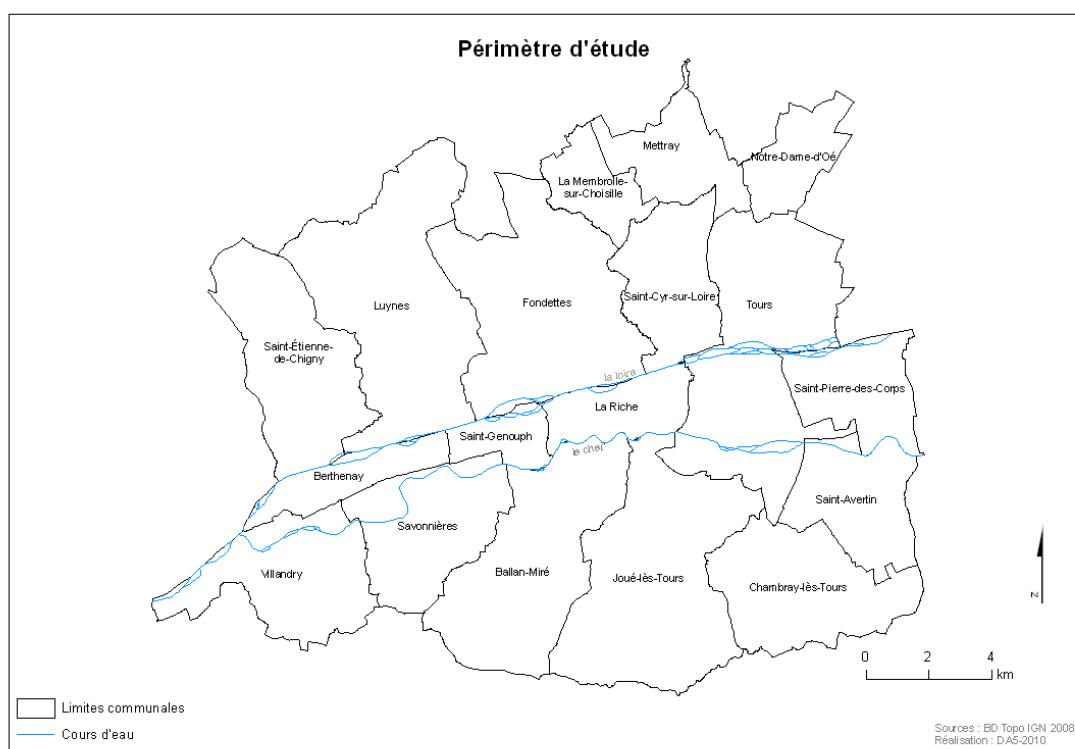
Situé entre la Loire et le Cher qui s'écoulent longtemps en parallèle, le val de Tours s'étend sur une longueur de 25 Km pour une superficie de 4 600 hectares, du coteau de Montlouis jusqu'au confluent de la Loire et du Cher.

Le val de Tours est fortement urbanisé aujourd'hui. La commune de Tours occupe toute la zone centrale du val. Les communes fortement urbanisées de St Pierre-Des-Corps, la Riche et celles moins denses de Montlouis, St Genouph et Berthenay ont tout leur territoire dans la partie inondable du 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'enjeux.

12. Le périmètre d'étude au sein du Val de Tours

Le périmètre d'étude est composé des communes de Tour(s) Plus et d'autres communes avoisinantes (voir carte 1).



Carte 1 : Périmètre d'étude

⁴ Préfecture d'Indre-et-Loire.- Crue majeure de la Loire.-p 13

Le choix de ce territoire est pertinent car un ensemble d'enjeux majeurs comme la population, les activités économiques et le réseau routier y sont abrités et peuvent être soumis aux inondations. Malgré la présence de zones inondables on observe une forte urbanisation de ce périmètre. En effet, 10 des 18 communes de l'aire d'étude ont une population de plus de 9 000 habitants dont parfois une part élevée soumise aux inondations. Sur tout le territoire 104 165 habitants sont localisés en zones inondables (voir tableau 1).

Tableau 1 : Communes touchées par les inondations

Commune	Population touchée / %	Population totale
Tours	73 844 / 54%	136 942
Saint-Pierre-des-Corps	15 651 / 100%	15 651
La Riche	8 793 / 91%	9 612
Saint-Avertin	1 299 / 9%	13 931
Saint-Genouph	1 005 / 100%	1 005
Berthenay	699 / 100%	699
Luynes	613 / 12%	5 002
Savonnières	589 / 20%	2 919
Fondettes	496 / 5%	9 876
Ballan-Miré	331 / 4%	7 541
Villandry	313 / 28%	1 111
Saint-Cyr-sur-Loire	242 / 1%	16 366
Saint-Étienne-de-Chigny	113 / 8%	1 364

Le réseau routier qui maille le territoire est composé de 20,3 km de routes de tous types. 5,6 km d'entre elles sont en zone inondable

2. De la notion d'aléa à celle de risque d'inondation

Dans ce deuxième chapitre, les différentes notions nécessaires à la compréhension du risque d'inondation seront définies.

21. L'aléa un phénomène naturel et imprévisible

L'aléa d'inondation, « *correspond au phénomène physique, découlant d'événements hydrométéorologique. Il doit être considéré indépendamment de ses conséquences en termes de dommages. Il se décrit par une probabilité d'occurrence et se représente, par exemple, par des cartes de submersion de période de retour définie.* » [Cemagref]⁵

D'autres définitions s'accordent sur le fait que :

- l'aléa est un phénomène aléatoire, difficilement prévisible ;
- l'aléa découle de paramètres naturels comme la pluie, le ruissellement des eaux ou la géologie et de facteurs anthropiques tels que la gestion des ouvrages hydrauliques existants, la modification de la morphologie des cours d'eau et de l'occupation des sols dans les lits majeurs, la modification des processus d'érosion et de ruissellement naturel ;
- L'aléa⁶ correspond à ce qui caractérise la submersion, indépendamment du mode d'occupation des sols.

L'aléa correspond à une probabilité d'apparition d'une inondation. Il peut être caractérisé par plusieurs facteurs : son amplitude ou son intensité, sa fréquence, sa durée, son étendue, son extension,... De façon générale, il se représente par des cartes de submersion de période de retour définie (dix, cent ans,...).

L'aléa d'inondation sur le périmètre d'étude

Afin de caractériser le risque d'inondation sur le périmètre d'étude, on se basera sur les aléas du l'atlas cartographique des zones inondables qui servent de base aux Plans de Prévention du Risque d'inondation (PPRI) réalisés sur les cours d'eau principaux : la Loire et le Cher. Les données sont élaborées à partir des plus hautes eaux connues (PHEC) sur ces cours d'eau.

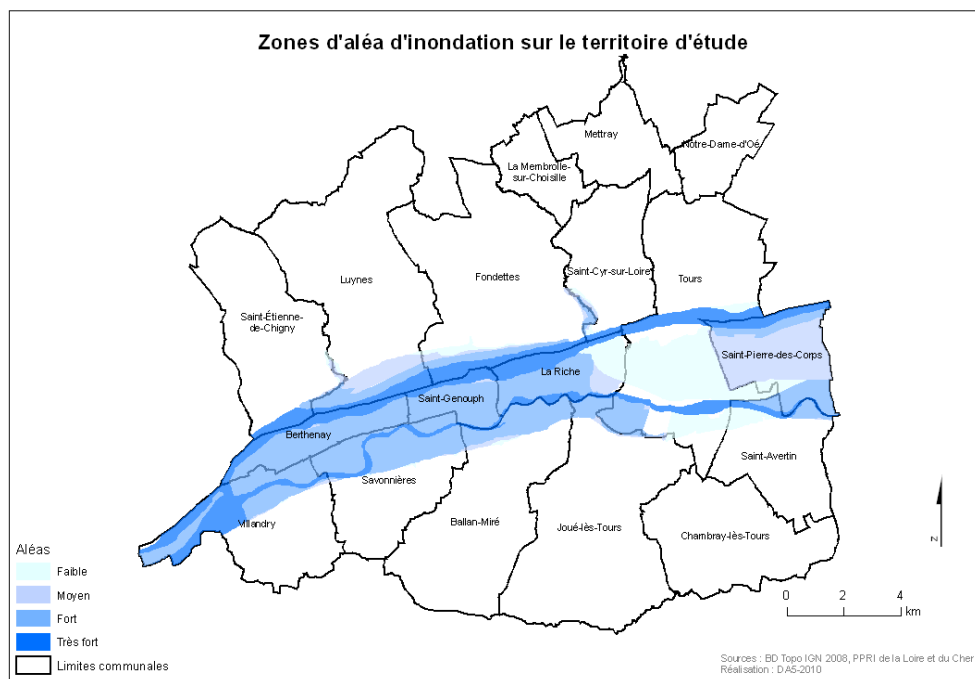
Quatre classes d'aléa sont ainsi définies dans le tableau 2 suivant l'importance de trois paramètres, le débit, la durée et la hauteur de submersion. La carte 2 présente l'étendue de ces classes d'aléa sur le périmètre d'étude.

⁵ POULARD (Christine), CHASTAN (Bernard), ROYET (Paul), DEGOUTTE (Gérard), GRELOT (Frédéric), ERDLENBRUCH (Katrin) et NEDELEC (Yves). – Prévention des inondations par ralentissement dynamique : principe et recommandations.- Ingénieries, numéro spécial 2009.-p.7

⁶

Tableau 2 : Caractérisation des aléas d'inondation

Durée \ Hauteur	< 0,5 m	0,5 – 1 m	1 – 1,5 m	> 1,5 m
Inférieure à 48h	Aléa faible	Aléa faible si $v < 1,5$ m/s	Aléa moyen	Aléa fort
		Aléa moyen si $v > 1,5$ m/s		
De 2 à 8 jours	Aléa faible	Aléa moyen	Aléa moyen si $v < 0,5$ m/s	Aléa fort si $v < 1,5$ m/s
			Aléa fort si $v > 0,5$ m/s	Aléa très fort si $v > 1,5$ m/s
De 8 à 15 jours	Aléa faible si $v < 1,5$ m/s	Aléa moyen	Aléa fort	Aléa très fort
	Aléa moyen si $v > 1,5$ m/s			
Supérieure à 15 jours	Aléa moyen	Aléa moyen si $v < 0,5$ m/s	Aléa fort si $v < 1,5$ m/s	Aléa très fort
		Aléa fort	Aléa très fort si $v > 1,5$ m/s	



Carte 2 : Les zones d'aléa sur le territoire

Les types de crue⁷

Une crue est l'élévation du niveau d'un cours d'eau, résultant de la fonte des neiges, des glaces, ou des pluies abondantes. En Loire, la fonte des neiges n'a pratiquement aucune influence, sauf si elle est provoquée par des pluies continues. Le Val de Tours est soumis aux différents types de crue de la Loire. Ces crues peuvent être regroupées en trois grandes familles :

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

⁷ Etude EGRIAN.-Le risque d'inondation sur l'agglomération de Nevers, la formation des crues de la Loire.-2008.- 28 pages

Moyenne⁸, 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.

L'histoire des inondations

Le périmètre d'étude a été touché par des crues catastrophiques causant des dégâts énormes durant les siècles passés. Une lecture de ces événements est possible à partir des repères de crue dont celui de Tours qui est le plus ancien.

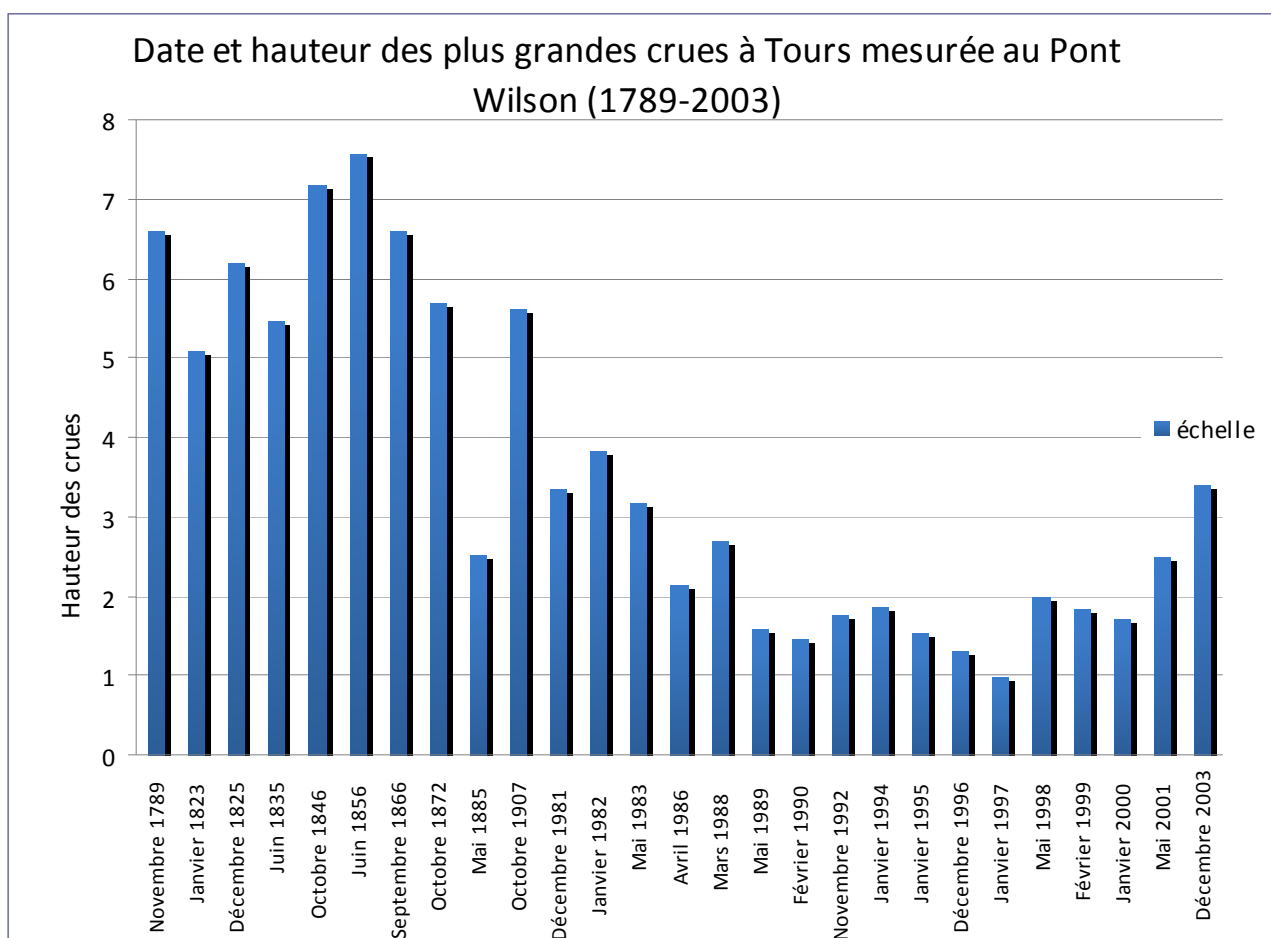


Figure 2 : Date et hauteur des plus grandes crues à Tours mesurée au Pont Wilson (1789-2003)

Source : DIREN, Centre

⁸La Loire Moyenne correspond à la partie du cours d'eau entre le bec d'Allier au bec de Maine.

On peut constater à partir de la figure 2 que les crues les plus dévastatrices à Tours se sont manifestées au 19ème siècle et ont atteint la hauteur de 7,58 m en 1856 qui représente les plus hautes eaux connues (PHEC).

La probabilité des inondations

Le débit de pointe en fonction de la période de retour au Bec d'allier est une donnée importante pour qualifier les crues à venir.

	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

Tableau 3 : Probabilité des crues

Source : PFE Jessica DUCROCQ, 2008

22. La vulnérabilité, définie par les enjeux présents et leurs caractéristiques

La vulnérabilité traduit la fragilité des entités, les enjeux, exposés à un danger, un aléa.

Les enjeux, cibles de l'aléa

Les enjeux représentent les cibles potentielles d'une inondation. Ainsi, cela prend en compte tout ce qui est présent dans la zone inondable et implanté ou non par l'homme, comme par exemple :

- les personnes habitant, travaillant ou fréquentant la zone inondable,
- les biens de toute nature (ayant une valeur monétaire ou non monétaire),
- les infrastructures (réseaux routiers, ferrés,...),
- les cultures et les animaux d'élevage,
- les activités économiques (services, production, exploitation,...),
- les milieux naturels.

Du fait de la forte urbanisation de l'agglomération tourangelle les enjeux tels la population, les activités économiques et les réseaux urbains y sont nombreux. La carte 3 présente les activités économiques implantées sur le territoire.



Carte 3 : Enjeux économiques sur le territoire de Tour(s) Plus

Source : PFE de Michen HE, 2009

Du fait du caractère inondable de certaines communes les enjeux sont donc exposés à l'aléa. En effet, certaines communes de Tour(s) Plus, comme Saint Genouph – La Riche – Saint-Pierre-des-Corps, sont entièrement localisées dans l'aléa. D'autres comme Tours ne sont pas entièrement localisées dans l'aléa mais présente une vulnérabilité élevée du fait de la population et du nombre d'entreprises implantés en zone inondable : 73 844 personnes sur les 136 942 habitants, soit 54 % de la population de Tours et 40 % des entreprises sont impactés par les inondations.

a) Les dommages causés aux enjeux par l'aléa⁹

Les dommages sont les conséquences concrètes d'une inondation sur les biens, les activités ou les personnes, souvent présentés sous forme de coûts. Cependant, ils sont difficiles à évaluer en raison du grand nombre d'acteurs en jeu et de différences dans la nature des dommages :

- Les dommages directs, dégâts matériels ou corporel aux biens liés à la submersion, peuvent être faciles à évaluer si l'information est accessible.
- Les dommages indirects, conséquences de l'apparition de certains dommages directs et de la submersion proprement dite sur les activités et les échanges à l'intérieur et à l'extérieur de la zone inondée, peuvent se manifester à travers des pertes d'exploitation. Ces dommages indirects doivent être comptabilisés sur une durée suffisante, qui peut aller jusqu'à plusieurs années là où l'activité économique a été durablement affectée, voire remise en cause.

⁹ POULARD (Christine), CHASTAN (Bernard), ROYET (Paul), DEGOUTTE (Gérard), GRELOT (Frédéric), ERDLENBRUCH (Katrin) et NEDELEC (Yves). – Prévention des inondations par ralentissement dynamique : principe et recommandations.- Ingénieries, numéro spécial 2009.-p.7

La notion de dommages directs et indirects peut se concevoir dans une logique d'enchaînements d'événements comme le traduit la figure 3.

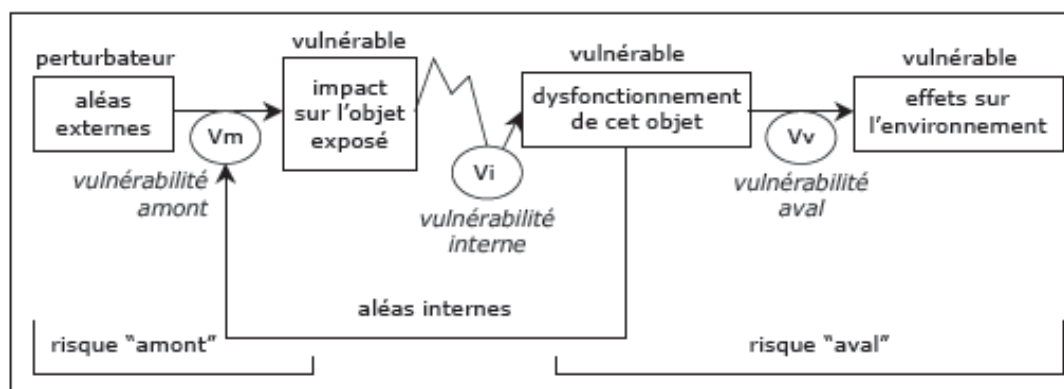


Figure 3: Maillon élémentaire de la chaîne des risques [Blanchet, 1998]

Sur ce schéma, l'objet subit un impact (dommage direct) de l'aléa externe en fonction de sa capacité à subir des dommages (vulnérabilité amont). Cet objet endommagé subit des dysfonctionnements (vulnérabilité interne) provoquant des effets en chaîne sur d'autres objets de l'environnement (dommage indirect).

Certains dommages sont difficilement quantifiables : les dommages psychologiques (pertes de vies humaines, préjudices moraux), environnementaux (perturbations de l'environnement, notamment en cas d'inondation par des eaux polluées).

b) La vulnérabilité, sensibilité de l'aléa¹⁰

Dans la littérature, un consensus existe sur le fait que la vulnérabilité traduit la sensibilité ou le niveau d'endommagement d'un bien, d'une activité ou d'un territoire à la submersion. Cependant, la vulnérabilité de deux enjeux qui seraient similaires serait différente, l'enjeu possédant une certaine capacité à résister à l'aléa, qui peut être dû à la façon dont il a été construit, aux matériaux utilisés, à la façon dont il est utilisé,...

Par exemple, si on prend deux bâtiments utilisés pour une activité économique, en modifiant la forme du bâti on peut réduire la vulnérabilité de l'enjeu :

- avec seulement un rez-de-chaussée, le personnel et le matériel doivent être évacués vers un autre local en dehors de la zone inondable, nécessitant ainsi du matériel, du temps et donc de l'argent,
- avec un étage le personnel peut y trouver refuge et le matériel peut y être entreposé, ce qui nécessite moins de temps et donc d'argent et qui permettra à la fin de l'inondation de remettre l'activité en route plus rapidement puisque le matériel à utiliser sera resté sur place.

Toutefois, la vulnérabilité des enjeux n'est pas une fatalité, elle peut être modifiée grâce à des actions de prévention et des dispositions constructives qui protégeront les enjeux avant l'apparition de la crue, mais aussi par les actions des autorités et de la population pendant l'événement de crue et les jours qui suivent.

¹⁰ MANCHE (Yannick).-Propositions pour la prise en compte de la vulnérabilité dans la cartographie des risques naturels prévisibles.- Revue de géographie alpine, Volume 85, Numéro 2,1997.- pp. 49 - 62

23. Qu'est ce que le risque ?

a) La définition du dictionnaire

Toute entreprise humaine comporte un risque ou le risque nul n'existe pas. Le risque existe dès que l'éventualité d'une catastrophe menace le territoire.

Risque :

- « *Danger éventuel plus ou moins prévisible* » [Petit Robert]
- « *Danger, inconvénient plus ou moins probable auquel on est exposé* » [Petit Larousse]

Ces définitions font ressortir le double aspect du risque à savoir son caractère aléatoire et la menace qu'il représente.

b) La caractérisation usuelle du risque

Le concept risque repose sur un modèle théorique. Il est au croisement de deux autres concepts aléa et vulnérabilité.

- L'aléa représente le phénomène naturel avec ses paramètres physiques et sa fréquence;
- La vulnérabilité exprime le niveau d'effet prévisible d'un phénomène naturel sur les entités exposées;

La vulnérabilité fait référence implicitement aux enjeux qui « *représentent les personnes, biens, activités, moyens, patrimoines, etc. susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel* »¹¹

L'éventualité d'une catastrophe n'est donc pas à craindre si celle-ci ne menace rien.

c) Le risque d'inondation

Le risque inondation est « *la combinaison de la probabilité d'une inondation et des conséquences négatives potentielles pour la santé humaine, l'environnement, le patrimoine culturel et l'activité économique associées à une inondation* »¹²

Le risque d'inondation sur le territoire d'étude

Tours et ses environs ont été victimes d'inondations à mainte reprise. Tout le val de Tours, à l'exception des quartiers hauts de la ville, de part et d'autre de la rue Nationale, a été inondé (les boulevards, la cour du lycée Descartes, la rue Basse du Rempart....) lors de la crue de 1856. De ce fait, le scénario le plus redouté par les acteurs de gestion de crise (préfecture, SDIS,...) est celui de la rupture de digue.

En effet, une inondation par débordement est prévisible bien à l'avance (environ 48 heures), et le Plan de Secours Spécialisé (PSS) 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

¹¹ www.prim.net, 2009

¹² Directive 2007/60/CE

prévoit 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.

Ouvrages de protection

Le val de Tours est 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.

La digue de Loire a été totalement renforcée. Cette levée est insubmersible pour des crues du type de celle de 1856. La levée du Cher à l'amont et au droit de la ville de Tours est un ouvrage récent et largement dimensionné; mais plus à l'aval, elle n'est pas encore renforcée et présente des caractéristiques assez médiocres.

24. La prise en compte réglementaire du risque¹³¹⁴

Le risque d'inondation n'a pas toujours été traité de la même manière. A une époque les actions de lutte contre le risque se résument à construire des ouvrages pour contrecarrer l'aléa (approche globale) mais aujourd'hui une approche intégrée est privilégiée (agir sur l'aléa et la vulnérabilité).

a) L'approche globale : une nécessité

Au XVIII^{ème} siècle et jusqu'au début du XX^{ème} siècle, l'urbanisation croissante et massive des villes obligeait le gouvernement à mettre en place un système d'assainissement pour éviter les problèmes de pollution dues aux eaux usées et pour évacuer les eaux de pluie. Cette nécessité d'assainir et les limites scientifiques de l'époque ont poussé les responsables à construire des ouvrages pour éradiquer le risque d'inondation.

La mise en place de système unitaire pour évacuer les eaux de pluie et usées ne prenait pas en compte la géographie du territoire. En effet, partout en France le circulaire Caquot (1949) obligeait de construire des ouvrages pour des crues décennales dans une approche sécuritaire. Malgré la mise en place de ces protections prescrites par le circulaire les inondations devenaient de plus en plus nombreuses. Le circulaire Loriferne (1977) prône une approche plus globale pour tenter de réparer les erreurs du précédent circulaire. Ainsi, il invite les acteurs à prendre en compte la géographie des lieux avant de décider de construire des ouvrages.

Ces systèmes d'évacuation malgré leur surdimensionnement ne prenaient pas en compte l'occupation des sols qui est un paramètre majeur d'imperméabilisation et d'augmentation du ruissellement.

Avec ces approches sécuritaires et globales, le risque reste cantonné dans le secteur de l'assainissement (hydrologues, hydrauliciens) et ne prenait pas en compte l'environnement.

b) L'approche intégrée : fruit de expériences du passé

Dès le début du XX^{ème} siècle, avec la montée des préoccupations écologiques des réflexions sont menées pour la mise en place d'un système de gestion des inondations plus respectueux de l'environnement et intégrant d'autres acteurs. Cela a permis d'aboutir aujourd'hui à une gestion plus intégrée du risque impliquant tous les secteurs (collectivités, techniciens, état, écologistes,...).

¹³ DUCROCQ (Jessica).-Evolution de l'accessibilité en période d'inondations sur des enjeux localisés (Détermination de la vulnérabilité en termes d'accessibilité).- 82 pages
Projet de fin d'études : Génie de l'aménagement.- Université de Tours : EPU-DA, 2008

¹⁴ BLANCHER (Philippe).- Risques et réseaux techniques urbains.-CERTU 1998.- pp 95-114

L'approche intégrée dans la gestion des risques d'inondation implique que pour réduire le risque on n'agit plus uniquement sur l'aléa (construction d'ouvrages) mais aussi sur la vulnérabilité du territoire.

La survenue d'une inondation et ses conséquences sur les enjeux articulent le risque autour d'un enchaînement « avant→pendant→après ». Cette dimension temporelle fait référence à une prise en compte du risque et une organisation du territoire pour y faire face. Cette organisation se déploie en trois phases :

- La prévention du risque
- La prévision du risque
- La culture du risque

La prévention¹⁵¹⁶

En matière d'inondation, il est difficile d'empêcher la survenue de l'évènement. De plus les ouvrages de protection ne peuvent garantir une protection absolue et procurent un faux sentiment de sécurité. Par conséquent, la prévention s'avère le meilleur moyen pour diminuer la vulnérabilité du territoire et ainsi lutter contre les risques d'inondation.

La prévention regroupe l'ensemble des actions et de mesures (lois, directives, documents de planification, d'information, d'urbanisme,...) à mettre en œuvre pour réduire l'impact de l'inondation sur les enjeux (population, biens, entreprises,...) du territoire.

La prévision fait appel à tous les acteurs d'un territoire : législateurs européens et nationaux, Etat, collectivités locales.

Les législateurs à travers les directives européennes et les lois (loi sur la sécurité civile de 2004,...) prescrivent les grandes lignes de la gestion des inondations, en d'autres termes ils annoncent les actions qui doivent être menés par différents acteurs pour arriver à réduire la vulnérabilité du territoire.

L'état (préfecture) met en place des documents pour empêcher ou limiter l'urbanisation en zone inondable (PPRI), informer la population des risques présents sur leur territoire (DDRM) et prévoir la gestion opérationnelle d'une inondation (plan ORSEC).

Les services de l'état notamment le Service Départemental d'Incendie et de Secours (SDIS) joue un rôle important dans la gestion opérationnelle de la crise puisqu'il est l'organe central de secours.

Les collectivités locales (mairies) sont au centre du dispositif de prévention en matière d'aménagement (permis de construire, PLU, SCoT), d'information (DICRIM, plan d'affichage) et de secours (PCS).

L'organisation des secours

En cas de crue majeure ou qui concerne plusieurs communes le poste de commandement (gestion opérationnelle de la crise) est de la responsabilité du préfet de département. Il

¹⁵ http://www.indre-et-loire.pref.gouv.fr/sections/votre_securite/securite_civile, 2009

¹⁶ www.developpement-durable.gouv.fr

fait appel aux différents acteurs (services déconcentrés de l'Etat : DDCS, DREAL, services de secours : SDIS, services de prévision des crues, opérateurs de réseaux ...) pour gérer la crise.

La prévision¹⁷

La prévision tente d'anticiper la survenue du risque par des procédés scientifiques, afin d'en optimiser la gestion avant-pendant et après la crise. Il s'agit d'un travail à court terme.

L'inondation est un risque prévisible mais il est difficile de connaître son intensité et le moment où il se manifesterait. Les paramètres concourant à la formation d'une crue sont nombreux, cependant le plus déterminant est la pluie.

La prévision d'une crue consiste en une série de mesure, d'observation continue des précipitations. Cette surveillance météorologique est assurée par le centre météorologique de Toulouse qui publie quotidiennement des cartes de vigilance de crue. Vu la difficulté de quantifier avec précision les précipitations sur les petits bassins versants et les cours d'eau de plaine, ce travail est du ressort des Services de Prévisions des Crues (SPC) qui eux opèrent sur leur territoire. Les SPC sont aussi responsables de la transmission des informations au préfet.

Une instance composée de météorologues et d'hydrologues, le service central d'hydrométéorologie et d'appui à la prévision des inondations, encadre les SPC au niveau national et est responsable de la veille hydrométéorologique vingt-quatre heures sur vingt-quatre.

La culture du risque

La culture du risque vise à faire prendre conscience du risque par la population, notamment lorsque la crise survient.

¹⁷ MINISTERE DE L'ECOLOGIE, DE L'ENERGIE, DU DEVELOPPEMENT DURABLE ET DE LA MER, « Portail de prévision des crues », in www.vigicrues.ecologie.gouv.fr, 2009

3. La vulnérabilité du réseau de transport routier

De la notion de risque à celle de vulnérabilité des réseaux et en particulier du réseau routier il y a un monde de définitions, de concepts, de questionnements. Dans les deux premiers chapitres on a abordé certaines notions clés telles le risque d'inondation, l'aléa, la vulnérabilité (directe, indirecte) et les enjeux. Parmi les objets constitutifs du territoire, les réseaux offrent un support important pour étudier les phénomènes d'effets domino (dommages en cascade), inhérents aux notions de vulnérabilité et de dommages indirects.

Dans ce troisième chapitre, on se propose d'aborder le concept de réseau de transport et celui de vulnérabilité dans ce contexte précis.

31. De l'importance des réseaux routiers dans l'étude des risques menaçant un territoire

Les réseaux routiers permettent de relier les différentes entités d'un territoire et constituent aujourd'hui des éléments indispensables au fonctionnement de notre société. De plus, les dommages liés aux réseaux urbains ne peuvent pas être rattachés à un périmètre bien délimité :

«... il n'y a pas de relation directe entre un point de coupure et le dommage, car cela dépend de la structure du réseau (maillage, interconnexions). L'extension du dommage s'étend au-delà du point de coupure, ce qui crée une difficulté supplémentaire d'évaluation... »¹⁸.

Une partie du réseau routier innervant l'agglomération tourangelle est susceptible d'être directement touchée par les inondations. En cas de forte crue, le dysfonctionnement d'une route peut avoir des répercussions sur un secteur bien plus large que la zone inondée. Ainsi, il peut empêcher ou gêner le fonctionnement d'autres activités, rendre difficile la gestion pendant la crue (les routes inopérantes rendent difficiles l'action des secours) et retarder le retour à la normale (réparation et le remplacement des installations endommagées).

On comprend bien que le réseau routier peut aggraver la vulnérabilité du territoire face au risque d'inondation. La notion de vulnérabilité du réseau de transport routier devient donc importante pour permettre une bonne gestion d'un événement d'inondation.

32. Le réseau de transport routier mode d'accès d'un territoire

« Un réseau est en quelque sorte le squelette d'un système visant à établir une forme de communication tangible comme les routes, les voies ferrées ou encore les corridors aériens et maritimes. Une route est un lien simple entre deux sommets s'inscrivant à l'intérieur d'un réseau plus vaste. Les réseaux de transport illustrent l'organisation

¹⁸ DESGRANGES (P.) « L'analyse des désordres et des dommages aux réseaux » in *Le coût du risque*.- Collections Presse de l'école nationale des Ponts et Chaussées, France, 1999.- pp. 149-151

territoriale des activités économiques ainsi que l'effort déployé à dessein de s'affranchir des distances. Ils résultent en un effondrement de l'espace-temps qui repose sur leur technologie comme sur leur structure. »¹⁹

Les réseaux de transport entretiennent un éventail de relations avec l'espace par leur continuité, leurs attributs naturels ainsi que par le contrôle de l'espace qu'ils permettent d'établir.

Le réseau routier constitué de l'ensemble des voies de circulation terrestres permet le transport de personnes et de marchandises par véhicules routiers, et en particulier, les véhicules motorisés (automobiles, motos,...).

En période normale le réseau routier permet de relier différents points du territoire (espace) en un temps donné ce qui traduit l'accessibilité spatio-temporelle. Ainsi, les opérations de secours peuvent se faire sans trop de difficulté vu que tout le territoire est accessible dans un temps assez court. En situation de crue cette accessibilité va diminuer du fait des routes qui seront impactées. De ce fait les opérations de secours ou d'évacuation d'enjeux deviendront plus difficiles car le temps de parcours va augmenter (voir figure 4).

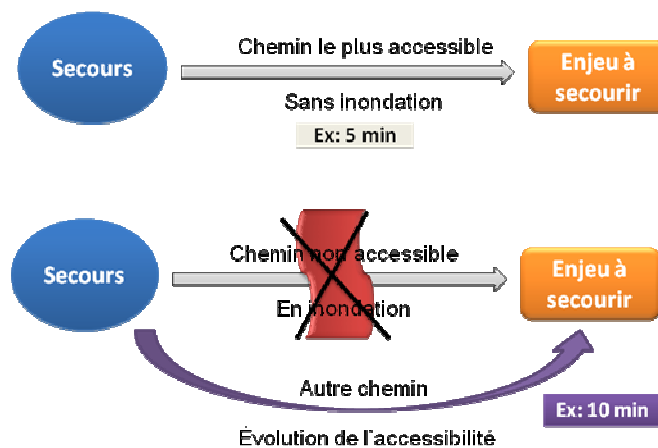


Figure 4 : Schémas d'évolution de l'accessibilité

Source : PFE J. DUCROCQ, 2008

33. La vulnérabilité du réseau de transport routier

Les dépendances croissantes des populations vis-à-vis des réseaux d'énergie, de communication et de transport amplifient en parallèle leur vulnérabilité aux risques d'interruption de ces mêmes réseaux.

Le réseau routier est très vulnérable aux inondations sur l'agglomération tourangelle : le problème de communication entre les deux rives de la Loire se pose dès que le fleuve atteint des niveaux de crue moyens et il devient majeur dans le cas de fortes crues. Il est dû à la submersion des accès aux ouvrages de franchissement (partie basse des routes). Ce problème se pose d'autant plus cruellement que le réseau routier est essentiel pour

¹⁹ www.geog.umontreal.ca/Geotrans/fr/ch2fr/conc2fr/ch2c3fr.html

maintenir les activités et les services pour une gestion efficace de la crise : évacuation de la population, acheminement des moyens de secours ou encore accès aux installations des différents réseaux impactés.

L'étude de la vulnérabilité des réseaux routiers à l'aléa inondation nécessite la connaissance d'un certain nombre de concepts de base concernant la géographie de transports et la science des réseaux.

Parmi ces concepts, l'ACCESSIBILITE correspond, pour un lieu, à la plus ou moins grande facilité avec laquelle il peut être atteint à partir d'un ou de plusieurs autres lieux²⁰. L'accessibilité se définit également comme l'offre de mobilité qui ne dépend pas des décisions de celui qui est mobile ou qui décide de la mobilité, mais des autres composantes du système de déplacements qu'il utilise (propos de J. LEVY et M. LUSSAULT en 2003²¹). Le concept d'accessibilité est un point important pour notre travail. Celui-ci s'intéresse en effet à la vulnérabilité du réseau routier de l'agglomération tourangelle en cas de crue de la Loire, sous l'angle de la sécurité civile.

On reviendra notamment à établir l'accessibilité des enjeux retenus par rapport aux points de secours et aux points d'évacuation. L'idée retenue initialement était qu'en présence d'inondation sur l'agglomération, les trajets ordinairement utilisés par les services de secours seraient très probablement perturbés, d'où l'intérêt d'étudier les nouvelles accessibilités des principaux enjeux.

Autre point important, la CONNEXITE du réseau routier. Un réseau est connexe lorsque tous les lieux peuvent être joints à partir de n'importe quel autre lieu²². Il s'agit donc d'une propriété capitale pour le bon fonctionnement d'un réseau routier. Or, au niveau de l'agglomération tourangelle, en cas de non accessibilité des ponts traversant la Loire, le réseau risque d'être divisé en deux entre la partie nord et la partie sud de la Loire. Le réseau ne serait alors plus connexe, mais divisé en deux réseaux connexes, voir en trois, si la traversée du Cher est elle aussi impossible. En cas de réseau routier non connexe, cela signifie également que les secours ne pourront peut être pas accéder à l'ensemble du territoire.

Enfin, troisième concept important, la CONNECTIVITE correspond à la propriété d'un réseau d'offrir des itinéraires alternatifs entre les lieux. Elle reflète donc le caractère plus ou moins maillé ou arborescent d'un réseau²³, et finalement sa plus ou moins grande vulnérabilité à un aléa. En effet un réseau de faible connectivité risque davantage de perdre son caractère connexe en cas de perturbation d'une partie du réseau, et donc la possibilité d'accéder à l'ensemble des points.

²⁰ CHAPELON (Laurent), 2006, Politiques de transport et accessibilité : contribution à la conception de réseaux et de services de transport, Habilitation à diriger des recherches, Dossier de synthèse, 263p

²¹ BAVOUX. J.J.et al. , 2005, Géographie des transports, Armand Colin, coll. U, 231 p.

²² Ibid.

²³ Ibid.

4. L'analyse des travaux existants

41. « L'évolution de l'accessibilité en période d'inondations sur des enjeux localisés : Détermination de la vulnérabilité en termes d'accessibilité » Projet de fin d'études de J. DUCROCQ

Le territoire d'étude

Le territoire d'étude initial du PFE est l'agglomération tourangelle, Tour(s)plus. Cependant les enjeux qui ont préalablement été choisis sont au nombre de 12. Ils sont localisés sur un territoire plus réduit que celui de l'agglomération à savoir les communes de Tours, Saint-Cyr sur Loire, Saint-Genouph et Saint-Pierre des corps. Les centres de secours sont sur les communes de Tours et de Fondettes.

Objectifs

Les objectifs du PFE sont de développer une méthode multicritère de sélection des enjeux qui permet de hiérarchiser les enjeux et d'évaluer la vulnérabilité des enjeux en situation d'inondation. Pour cela l'évolution de l'accessibilité d'un enjeu est étudiée hors et pendant une inondation ainsi que son impact temporel, pour mettre en lumière les enjeux les plus vulnérables en matière d'accessibilité par les secouristes en période de crue.

La méthode de travail : croisement de bases de données et enrichissement du multicritère

Les bases de données utilisées sont les suivantes :

- l'ensemble du réseau routier, avec une description précise du réseau de transport.
- la localisation des principaux enjeux localisés et leurs caractéristiques.
- différents scénarios d'inondations.

Différents critères sont renseignés pour chaque bâtiment et un classement est effectué grâce au multicritère. Il détermine les enjeux prioritaires à secourir qui sont classés dans Bd PEL 1.

La carte du réseau de transport en période normale (Bd RdT Normal) permet de déterminer les itinéraires des services de secours et la caractéristique de l'accessibilité hors crue pour chaque enjeu, la vulnérabilité potentielle. Plus elle est forte, plus un enjeu est difficile d'accès. Cette caractéristique de l'accessibilité ajoutée au multicritère donne un nouveau classement (Bd PEL 2). Ainsi une mauvaise accessibilité renforce la priorité du bâtiment.

La base de données des inondations (Bd Inond) permet de repérer les zones du réseau submergées, cela donne la base de données du réseau routier en période d'inondations (Bd RdT Inond). Elle permet alors de déterminer la vulnérabilité effective et de classer les enjeux dans (Bd PEL 3).

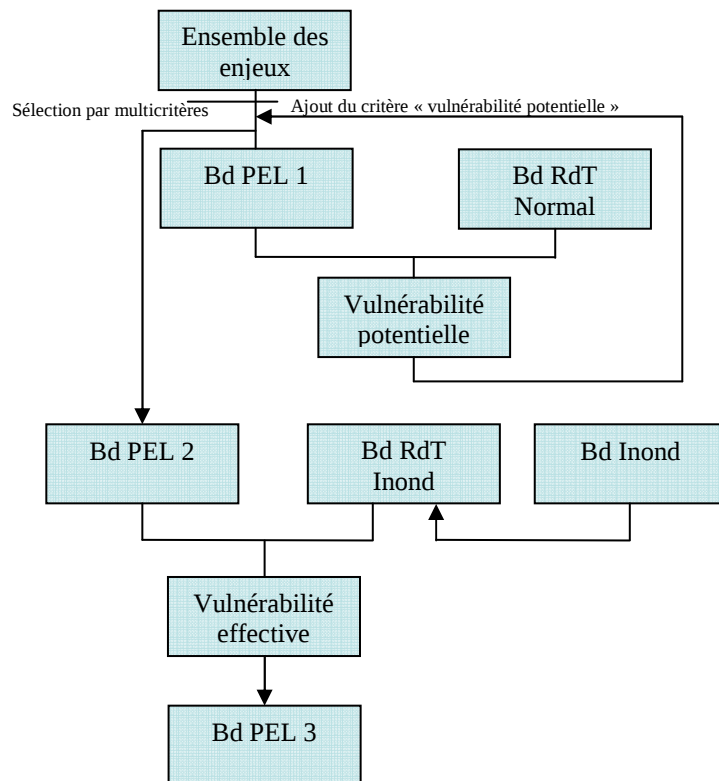


Figure 5 : Procédure de classement multicritère

Source :PFE de J. DUCROCQ, 2008

L'intégration d'un outil de classement par multicritère pour hiérarchiser les enjeux

Pour effectuer la hiérarchisation des enjeux à secourir, l'outil choisi est un programme basé sur la méthode ELECTRE III. Son but est de classer les actions à réaliser depuis les « meilleures » jusqu'aux « moins bonnes », grâce à la pondération de critères déterminés à l'avance.

Les critères, les performances et les pondérations sont les suivantes :

Critère	Aléa	Etage	Population	Autonomie	Risque non humain	Importance de la population
Performances	Entre 0 et 4 suivant la valeur de l'aléa	Nombre d'étages de l'édifice	Valeur moyenne réelle ou estimée	Entre 1 et 5 selon le type majoritaire de population	Entre 0 et 2 selon le risque encouru	Entre 0 et 2 selon l'importance stratégique
Pondération	5	5	4	3	2	1

La pondération attribuée à l'accessibilité est de 5.

a) Points forts

- Mise en place d'une méthode de hiérarchisation des enjeux par un outil multicritère.

Source : PFE de J. DUCROCQ, 2008

- Ebauche d'une méthode de calcul de l'accessibilité hors et en période d'inondation ainsi qu'une méthode de calcul de l'évolution de l'accessibilité entre les deux états du réseau routier.
- Les différents scénarios d'inondation ce font toujours dans le cas d'une rupture de digue, c'est le scénario le plus redouter par les acteurs de la gestion de crise.

b) Points faibles

- Le nombre d'enjeux est trop faible pour permettre de voir une évolution dans le classement.
- L'accessibilité ne concerne que l'allé du poste de secours vers l'enjeu et ne prend pas en compte le retour c'est-à-dire de l'enjeu vers les centres d'hébergements d'urgences.
- La méthode Electre III peut définir des actions ex-æquo.
- Le modèle utilisé pour les inondations ne permet pas d'avoir la réalité de zones inondées ainsi que la hauteur d'eau réelle.

42. « La gestion de crise en période d'inondation : étude de l'accessibilité aux enjeux et de leur vulnérabilité » Projet de fin d'études à l'UTC

Ce travail s'inscrit dans le cadre du projet de recherche ACCEL qui a pour but l'évaluation de l'impact des 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 aident 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 permet de déduire les enjeux les plus vulnérables et les moyens d'intervention appropriés.

Dans cette étude, les auteurs s'intéressent plus particulièrement à la partie gestion d'une crise d'inondation et cherchent plus précisément à étudier les différents scénarios possibles d'inondation et leurs impacts sur les différents enjeux et notamment sur le réseau routier, en termes d'accessibilité aux points stratégiques, voire d'évacuation en cas de crue catastrophique.

Le principal objectif de cette étude étant d'autre part de proposer une méthode qui pourrait déboucher sur la création d'un outil permettant de prévoir les impacts d'un scénario d'inondation en termes de coupure et d'accessibilité des routes et en termes d'enjeux socio-économiques et sensibles touchés.

La hiérarchisation des enjeux se fait avec la méthode ELECTRE III. Les critères pris en compte sont relatifs à la hauteur d'eau, la hauteur des bâtiments (un bâtiment de plein pied sera prioritaire par rapport à un à étage) et la dangerosité de l'enjeu en termes d'impact sur l'environnement et la santé (produits chimiques explosifs, inflammables, toxiques....). Prendre plus de critères est inutile pour les services de secours car le modèle devient trop complexe et est alors difficile d'utilisation. Cette classification des enjeux se fait en avant et pendant une inondation.

Limites

L'accessibilité aux enjeux dépend du réseau routier et du matériel dont dispose les services de secours. Des incertitudes planent sur la disponibilité de ces éléments clés pour la gestion de crise.

En effet, en période d'inondation le réseau routier peut être inopérant à cause de la présence d'eau ou de matériaux transportés par l'eau. Certaines routes seront donc coupées à partir d'une hauteur d'eau donnée ou à cause de la présence d'obstacles. Le modèle mis en place à partir de cette étude ne tient pas compte de ces impondérables qui peuvent venir du réseau routier.

Une incertitude existe aussi sur les moyens de secours disponibles au moment de la crue. En effet, des moyens humains et/ou matériels peuvent ne pas être présents ou utilisables pendant la crise, ce qui peut invalider le modèle.

43. « Multicritère et accessibilité, démarches intégrées de caractérisation de la vulnérabilité indirecte d'enjeux socio-économiques en période de crue » Projet de fin d'études de Michen HE

L'objectif de ce travail de recherche était d'estimer la vulnérabilité indirecte des entreprises de l'agglomération de Tours en période d'inondation. Les buts étaient de pouvoir prioriser l'action des secours et de déterminer les chemins les plus courts pour accéder à ces différents enjeux. Ce travail permet de vérifier et valider le modèle de calcul d'accessibilité élaboré dans le PFE précédent, tout en reprenant la démarche multicritère appliquée à un plus grand nombre d'enjeux (166 enjeux pris en compte par rapport à une dizaine).

Le calcul de l'accessibilité

Le calcul de l'accessibilité des enjeux élaboré dans le PFE précédent a été repris et adapté à un plus grand nombre d'enjeux. La méthode utilisée était la suivante :

La première étape consiste à calculer l'accessibilité de chaque commune par rapport aux 13 autres. Ceci est réalisé grâce à des matrices origines destination calculées à partir du centroïde de chaque commune. En agrégeant l'accessibilité des communes les unes par rapport aux autres, on obtient une carte de synthèse de l'accessibilité indiquant les communes les plus inaccessibles par rapport aux autres.

La deuxième étape permet de hiérarchiser la vulnérabilité des communes avant et pendant la crue, en prenant en compte les critères pondérés de population, d'accessibilité puis d'aléa. Par rapport au PFE précédent, le nombre de critère utilisé a été réduit en raison du plus grand nombre d'enjeux pris en compte et de l'absence de base de données urbaine.

La troisième et dernière étape est la même que la précédente mais était appliquée aux enjeux, avant et après la crue.

Lors de ces deux classements, il apparaît que les différents critères sont importants et peuvent faire varier les classements de façon relativement importante.

Critiques

Même si le choix de la pondération des critères de hiérarchisation des enjeux est critiquable, ce projet a pour avantage de proposer des méthodes reproductibles et adaptables aux besoins des acteurs, que ce soit pour les calculs d'accessibilité des enjeux ou pour l'utilisation de la méthode multicritère élaborée par Jessica DUCROCQ et Gabriel POULIGNER dans leurs travaux.

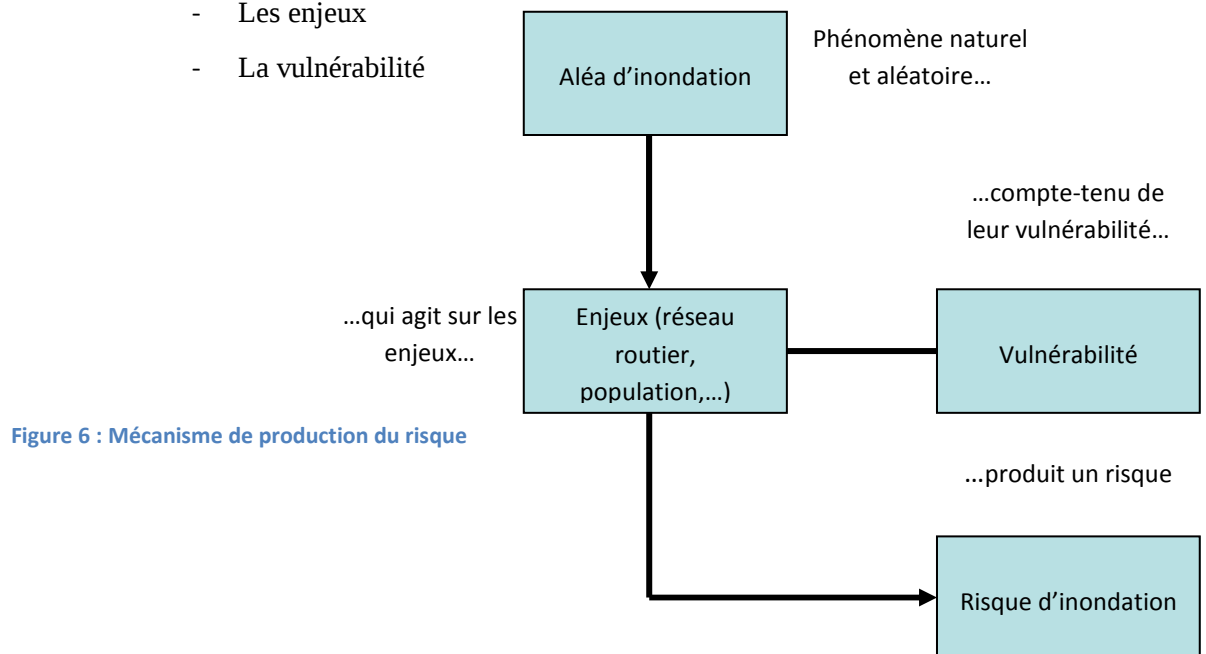
De plus, différentes échelles sont étudiées: communale puis plus sectorielle, ce qui permet de mieux intégrer le risque dans une démarche globale sans se focaliser sur un secteur trop restreint.

Toutefois, le calcul de l'accessibilité reste « simple », en effet, l'accessibilité d'un enjeu est considérée comme égale à celle de la commune où il est situé. En réalité les choses sont différentes, par exemple l'accessibilité d'un enjeu ne sera pas la même si celui-ci est situé à Tours-Nord ou à Tours-Sud, puisque la Loire et le Cher seront à traverser... De plus, des perturbations peuvent être présents, telles que des arbres couchés en travers des routes, des travaux sur la chaussée commencées avant inondation,... ne sont pas prises en compte.

5. Synthèse (DORCEUS Rébecca-Valéry)

Le risque d'inondation existe dès lors que l'aléa d'inondation menace des enjeux vulnérables d'un territoire. Cette formulation reprend tous les termes clés du risque, à savoir :

- L'aléa
- Les enjeux
- La vulnérabilité



La figure 6 situe les différentes notions les unes par rapport aux autres afin de mettre en évidence le processus de production de risque. Par construction le produit « enjeux x vulnérabilité » correspond pour un aléa donné au dommage potentiel que subirait l'enjeu si l'aléa venait à se réaliser.

Les distinctions des dommages fournissent une trame pour l'étude de la vulnérabilité :

- la distinction des effets directs et indirects qui proviennent de l'action physique du phénomène
- la distinction des effets tangibles et intangibles qui permettent de chiffrer les dommages mais aussi de considérer les dommages irréparables.

Cette rapide synthèse sur les notions liées au risque d'inondation laisse deviner l'importance des liens existants avec le territoire. Le risque est donc indissociable du territoire et certains arrivent même à utiliser l'expression de «risque territorialisé». Intégrer la notion de risque d'inondation sur le territoire de l'agglomération tourangelle revient à formaliser les composantes majeures de ce territoire pour en déduire les dommages que peuvent causer les inondations.

Territorialiser le risque d'inondation sur ce territoire revient en particulier à étudier la vulnérabilité des réseaux de transports urbains, base de l'organisation de l'agglomération tourangelle.

La partie 2 développe donc des méthodes pour évaluer la vulnérabilité indirecte des réseaux de transport.

PARTIE 2 : VERS UNE CONNAISSANCE DE LA VULNERABILITE DU TERRITOIRE

AUROY Diane-Claire - SEBIROU Anne-Claire

1. L'accessibilité, un critère de la vulnérabilité (SEBIROU

Anne-Claire)

En géographie, l'accessibilité d'un lieu est généralement définie comme « la plus ou moins grande facilité avec laquelle ce lieu peut être atteint à partir d'un ou de plusieurs autres lieux, par un ou plusieurs individus susceptibles de se déplacer à l'aide de tout ou partie des moyens de transport existants »²⁴.

Ainsi, l'accessibilité ne correspond pas seulement à la possibilité d'atteindre ou non un lieu donné. Elle renvoie aussi à la notion de pénibilité du déplacement, au niveau de services offert par le ou les systèmes de transports utilisés et enfin à la difficulté de mise en relation au sein des différents réseaux.

Dans le cas des transports individuels, le niveau de service offert dépend essentiellement :

- De la structure du réseau, appréciée par la sinuosité et la configuration des voies
- De la qualité des infrastructures, appréhendée par leurs caractéristiques techniques telles que le nombre, la largeur des voies, les aménagements des côtés, l'existence d'un séparateur central de chaussées, ...
- Des contraintes topographiques comme la pente
- Des réglementations en vigueur telles que les limitations de vitesses, les plans de circulation,...
- Des caractéristiques techniques du véhicule utilisé. A titre d'exemple, un véhicule « normal » ne peut plus circuler au-delà de 30 centimètres d'eau.
- Des facteurs de perturbation qui feront varier la qualité du service offert selon les jours de l'année et les heures de la journée tels que la congestion, des travaux, des accidents, des intempéries,...

Le calcul de l'accessibilité passe par des calculs d'itinéraires. Le but est de déterminer les itinéraires les plus courts pour permettre d'évacuer toute la population vulnérable, que ce soit avec l'aide des pompiers, des habitants eux-mêmes, des transports en commun ou des taxis. Il faudra donc fournir des itinéraires à la population, aux pompiers et aux conducteurs de transports en commun pour qu'ils puissent évacuer la population dans les meilleures conditions possibles.

Ce travail passe donc par une modélisation du réseau routier et l'utilisation de la théorie des graphes.

Ici, le graphe utilisé correspond au réseau de transport issu de la BD de l'IGN comprenant des informations sur le type de voirie (type de voirie et limitation de vitesse), le sens des déplacements (plan de circulation), ...

²⁴ Extrait de Calculs d'accessibilité - Impact des spécifications du réseau routier sur les calculs d'accessibilité - Données sources méthodes publié par le Certu

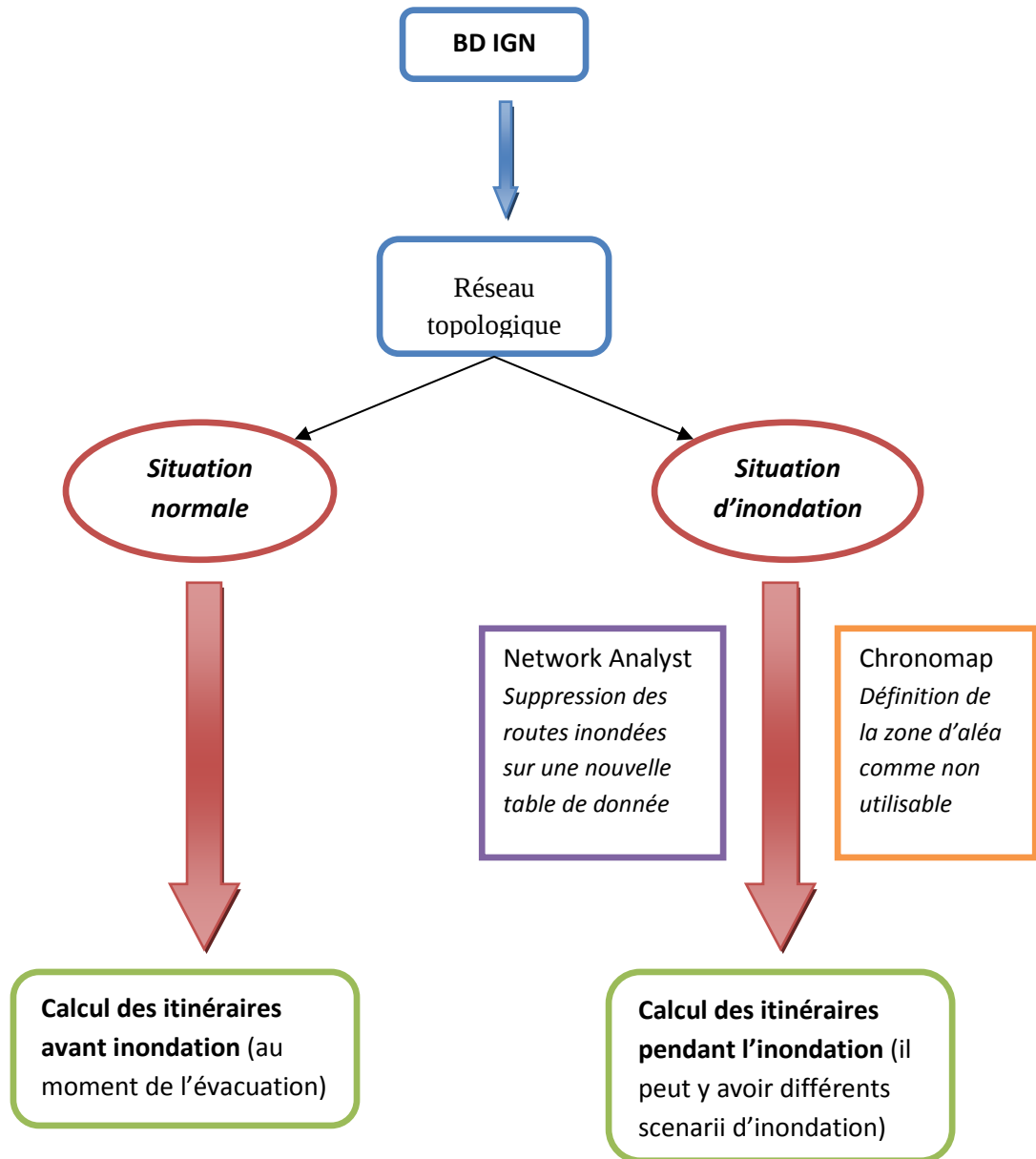


Figure 7 : Processus de calcul de l'accessibilité en période normale et en cas de crue

Plusieurs logiciels de SIG permettent de calculer des itinéraires. Dans ce PFE, le logiciel MapInfo et l'extension Chronomap ont été choisis pour la réalisation de ces calculs²⁵. Parce qu'ils sont simples d'utilisation, que Mapinfo est couramment utilisé dans les collectivités et que la modélisation d'une inondation est aisée à réaliser car elle ne demande pas de modifier la base de données du réseau routier.

Nous ne savons pas quel algorithme le logiciel utilise. Cependant, les algorithmes de calculs du plus court chemin fonctionnent en général par incrémentation :

- à partir d'un point d'origine, ils recherchent les segments sur le réseau qui peuvent être utilisés
- ils additionnent les distances qui ont été précédemment parcourues
- ils prennent la plus faible distance comme référence

²⁵ Voir en annexes une comparaison des extensions de Mapinfo et d'ArcGis.

- ils repartent à la première étape jusqu'à ce que le point atteint soit celui d'arrivée

Pour tous les calculs d'itinéraires réalisés par la suite, les véhicules utilisés par Chronomap seront considérés comme des véhicules de secours. Les limites de vitesses définies par le code de la route ont été abaissées pour tenir compte de possibles embouteillages sur les routes, de la présence de feux tricolores, de stop,... qui ralentissent un trajet. Ainsi, en ville la vitesse de parcours est de 25 km/h et hors agglomération de 55 km/h.

Les résultats de ces calculs d'accessibilité, en termes de durée de parcours, seront utilisés dans le chapitre suivant comme critère permettant de hiérarchiser les enjeux et les IRIS.

NB : dans cette partie, le terme de crue majeure de la Loire correspondra à une inondation des zones d'aléa faible, moyen, fort et très fort définies par le PPRI.

11. Des accessibilités différentes pour les communes de l'agglomération de Tours

Pour pouvoir mesurer la vulnérabilité des communes, nous avons entre autre besoins d'évaluer leur accessibilité. Or, ce type de calcul n'est actuellement pas réalisé lors de l'élaboration de plans d'interventions, des plans communaux de sauvegarde,... Nous avons donc réalisé deux calculs :

- l'accessibilité des communes les unes par rapport aux autres. Cela nous permettra de définir les communes ayant des pertes d'accessibilité (totale ou partielle) qui entraîneront une évacuation des zones habitées et zones d'activité en danger.
- l'accessibilité au sein des communes. Ainsi, nous pourrons évaluer pour les communes les plus peuplées les secteurs inaccessibles en cas de crue et donc à évacuer en priorité avant l'inondation. En effet, dans le calcul précédent, toute la commune était considérée comme inaccessible si sa mairie se situe en zone inondable, alors que par exemple dans Tours, la mairie sera effectivement inondée, mais toute la population ne sera pas dans la même situation. En effet, les habitants de Grandmont ou du quartier de l'Europe ne seront pas touchés par la montée des eaux étant donné qu'ils sont situés en hauteur.

Le classement des communes vis-à-vis de l'accessibilité se fera pour plusieurs situations : hors inondation et pour différentes crues. En effet, en prenant une situation hors période d'inondation, nous pouvons représenter la situation au moment de l'évacuation de la population. En prenant différents scénarii de crue, nous représentons les périodes où le territoire est vulnérable.

Les différents scénarii que nous avons choisis, avec l'aide du PPRI, sont :

- Une inondation qui concernerait toutes les zones d'aléa
- Une inondation qui recouvrirait les zones à aléa très fort, fort et moyen en conservant les ponts permettant de traverser la Loire et le Cher
- Une inondation qui recouvrirait les zones définies comme dans l'aléa très fort et fort avec les ponts utilisables
- Une inondation ne couvrant que la zone d'aléa fort avec tous les ponts utilisables
- Pas d'inondation

Pour réaliser ces calculs, il faut :

- rechercher pour une commune les itinéraires les plus courts menant à toutes les autres communes de l'agglomération et additionner ses différentes durées et distances
- réaliser ces calculs pour toutes les communes de l'agglomération
- comparer, classer et représenter les résultats obtenus.

L'utilisation de Chronomap permet de réaliser tous les calculs d'itinéraires entre les différentes communes. Il reste ensuite à additionner les résultats depuis les communes d'origines vers les différentes destinations, soit directement sur Mapinfo, soit sur Excel. Le passage sur Excel se fait très rapidement, puisqu'il existe la possibilité d'ouvrir une table de Mapinfo sur Excel, ce qui rend ensuite les calculs très simples et permet de réaliser des graphiques.

a) L'accessibilité des communes vue de façon globale

Nous avons travaillé avec l'emplacement des mairies pour définir l'accessibilité d'une commune. En effet, les mairies sont généralement situées dans les parties les plus urbanisées des communes, parties qui seront les plus en danger vis-à-vis d'une inondation.

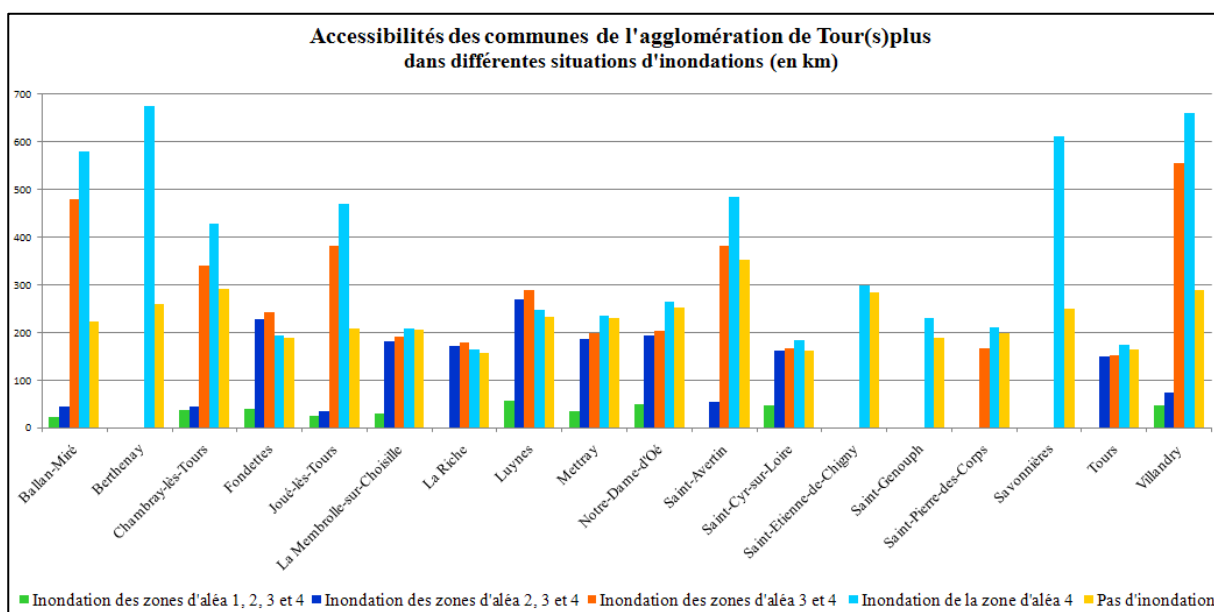


Figure 8 : Accessibilité des communes de l'agglomération de Tours dans différentes situations d'inondations

Des communes aisément accessibles sans inondation

Il ressort du calcul de l'accessibilité des communes hors inondation, que les distances à parcourir sont plus longues pour les communes périphériques. Ceci est principalement dû au fait que la commune de Tours possède la majorité des ponts permettant la traversée de la Loire et du Cher, impliquant quasi-systématiquement sa traversée pour rejoindre une commune du Nord de l'agglomération depuis une du Sud et inversement.

De ce fait, nous pouvons prévoir aisément qu'en cas d'inondation, l'accès entre les communes situés de part et d'autre de l'axe Loire-Cher sera difficile voire impossible.

Une accessibilité qui croît quand les inondations diminuent d'intensité

- Lors d'une crue majeure, de nombreuses communes sont alors inaccessibles depuis toutes les autres ou depuis seulement certaines d'entre elles.

Ainsi les communes situées entre la Loire et le Cher deviennent totalement inaccessibles, tandis que les communes en périphérie sont accessibles entre elles, de part et d'autre de la barrière infranchissable créée par la Loire et le Cher.

Pour les communes de Saint-Avertin, Savonnières et Saint-Etienne-de-Chigny, marquées comme inaccessibles, les mairies sont situées à la limite intérieure de la zone inondable, alors que les communes de Villandry et Luynes sont situées à la limite extérieure de la zone inondable. Ceci explique la différence d'accessibilité présente pour des communes dont les situations géographiques et les organisations des centres bourgs sont proches.

La nette séparation du territoire est due au fait que les ponts traversant la Loire et le Cher sont considérés comme étant dans l'aléa très fort et donc coupés. Or, en réalité ils sont surélevés et peuvent, jusqu'à un certain niveau d'eau être utilisés. Toutefois, pour le même type d'inondation, si le calcul précédent est réalisé en considérant les ponts comme hors d'eau et possiblement franchissables, l'accessibilité des communes reste identique. En effet, les zones situées à leurs extrémités font également partie de la zone inondable. Cependant, en considérant une inondation de plus faible importance, la situation pourrait être fortement modifiée. En effet, le centre ville de Tours est situé en majeure partie dans la zone d'aléa faible. Cela laisse donc la possibilité aux secours de traverser au besoin les ponts pour accéder au reste du territoire de l'agglomération.

- En cas d'inondation moins importante qui concernerait les zones définies dans le PPRI comme zone d'aléa moyen, fort et très fort tout en permettant de traverser les ponts de la Loire et du Cher, l'accessibilité des communes change de façon plus significative au Nord qu'au Sud.

Les communes qui restent totalement inaccessibles sont celles dont les mairies se trouvent dans les zones inondables (Berthenay, Saint-Etienne-de-Chigny, Saint-Genouph, Saint-Pierre-des-Corps et Savonnières). L'accessibilité augmente fortement pour les communes situées au nord de la Loire puisque le centre ville de Tours et la Riche, en dehors de la zone inondée, deviennent accessibles tandis que les ponts sur le

Cher sont toujours infranchissables. En effet, le pont neuf, le pont Saint-Sauveur et le pont d'Arcole (autoroute) ont au moins une de leurs extrémités dans une zone inondée. Le pont de Sanitas(N10) qui pourrait être utilisé, a une grande défaillance dans la modélisation du réseau routier impossible à modifier (nous supposons que le pont n'est pas entier dans la base de données car un trou semble apparaître dans sa modélisation). De plus, comme le pont de l'A85 (à l'est de notre zone d'étude) est considéré comme utilisable, les communes au Sud du Cher sont alors considérées comme accessibles depuis le Nord de la Loire. Pour les communes situées au Sud du Cher, l'accessibilité augmente relativement peu car seule la commune de Saint-Avertin devient accessible. Le pont de l'A85 n'est pas utilisable, donc les communes du Nord de la Loire ne peuvent être atteintes depuis le sud.

- Pour une inondation qui recouvrirait toutes les zones définies dans le PPRI comme zone d'aléa fort et très fort avec la possibilité de traverser les ponts de la Loire et du Cher, l'accessibilité des communes change plus significativement au Sud qu'au Nord de l'agglomération.

Certaines communes restent toujours complètement inaccessibles (Bertenay, Saint-Etienne de Chigny, Saint-Genouph et Savonnières) car leurs mairies sont toujours situées dans la zone inondable. Pour les autres l'accessibilité est importante car les principaux ponts permettant de traverser la Loire et le Cher peuvent être empruntés (ponts Napoléon, Wilson et Mirabeau pour la Loire et pont d'Arcole/autoroute pour le Cher).

- En considérant une inondation qui recouvrirait toutes la zone définie dans le PPRI comme zone d'aléa très fort avec la possibilité de traverser les ponts de la Loire et du Cher, l'accessibilité des communes change de façon importante pour les communes jusqu'alors inaccessibles. Dans cette situation, toutes les communes de l'agglomération sont définies comme accessibles et elles peuvent maintenant accéder à toutes les autres car tous les ponts sont ouverts.

Pour certaines communes les distances de parcours diminuent. Toutefois, ceci n'est pas lié à une moins bonne accessibilité comme pour les simulations des inondations précédentes mais au contraire signifie une meilleure accessibilité. En effet, le nombre de zones touchées par l'inondation diminue permettant ainsi de trouver des chemins plus courts pour aller d'un point à un autre. Cependant, les valeurs restent légèrement supérieures à celles obtenues sans inondation. En effet, les routes suivant les digues ou les cours d'eau sont partiellement coupées par les inondations et donc inutilisables alors qu'elles simplifient grandement les parcours en temps normal.

b) L'accessibilité au sein des communes, vue de façon globale

Pour les communes principales, nous avons réalisé des calculs d'accessibilité entre les différents IRIS. Au sens de l'INSEE, les IRIS, ou Ilots Regroupés pour les Indicateurs Statistiques, constituent un maillage infra-communal qui « *doit respecter des critères géographiques et démographiques et avoir des contours identifiables sans ambiguïté et stables dans le temps* »²⁶ (INSEE).

²⁶ Définition de l'INSEE : <http://www.insee.fr/fr/methodes/default.asp?page=definitions/ilots-regr-pour-inf-stat.htm>

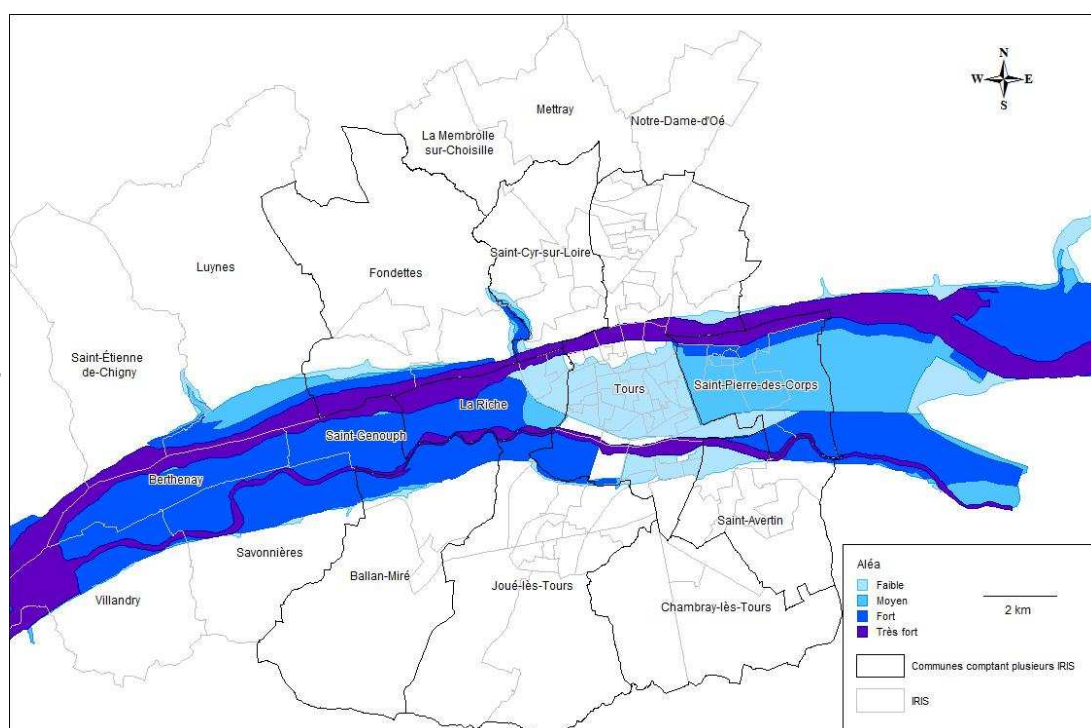
Les communes de plus de 10 000 habitants et une partie des communes comportant entre 5 000 et 10 000 habitants sont découpées en IRIS. Pour les autres communes, l'IRIS est assimilé à la commune entière, afin que tout le territoire national soit recouvert.

Dans l'agglomération de Tour(s)plus, certaines communes sont découpées en plusieurs IRIS. Comme le montrent le tableau et la carte suivants, tous les IRIS ne sont pas touchés par les zones définies comme dans les zones d'aléa inondation du PPRI. Par ailleurs, un IRIS touché par une zone inondable ne voit pas systématiquement tout son territoire inondé. Certains IRIS ne sont finalement que très peu touchés alors que d'autres sont quasiment voire entièrement inondables.

Tableau 4 : Nombre d'IRIS dans les communes de l'agglomération de Tours

Communes	Nombre d'IRIS	Nombre d'Iris en zone inondable
Tours	57	41
Joué-lès-Tours	16	3
Saint-Avertin	7	2
Saint-Pierre-des-Corps	7	7
Saint-Cyr-sur-Loire	6	3
Chambray-lès-Tours	4	0
La Riche	4	4
Ballan-Miré	3	1
Fondettes	3	2

Sources: BD Topo IGN 2008,
PPRI Loire et Cher



Carte 4 : Position des IRIS dans l'agglomération de Tours

Cependant, même pour des communes dont une partie de leurs IRIS comporte un risque de subir une inondation, il n'y a pas forcément d'enjeux, par exemple les IRIS contiennent le cours d'eau et les îles de la Loire et du Cher (non habitées). Ainsi, les

centroïdes des IRIS ont été déplacés pour ne pas être situés dans les cours d'eau et être à proximité de la route la plus proche.

En étudiant les différents scénarii d'inondation, tous les Iris au sein des différentes communes ne voient pas leurs accessibilités modifiées de la même façon. Deux types de changements existent :

- Aucune modification d'accessibilité quel que soit le scénario utilisé, comme pour les communes de Chambray-lès-Tours, Fondettes, La Riche et Saint-Cyr-sur-Loire.
- Une modification d'accessibilité qui s'opère entre certains scénarii, comme pour les communes de Ballan-Miré, de Joué-lès-Tours, de Saint-Avertin, de Saint-Pierre-des-Corps et de Tours.

Deux causes peuvent expliquer les modifications d'accessibilité :

- Le centre de l'IRIS se trouve dans la zone inondable et il n'y a pas la possibilité d'en partir, ni celle d'y arriver, ce qui diminue ainsi les accessibilités des autres IRIS de la commune. C'est par exemple le cas à La Riche en cas d'inondation des zones d'aléa moyen, fort et très fort du PPRI. L'IRIS le plus à l'ouest (0104) est le seul en zone inondable, les autres voient alors leur accessibilité diminuer par rapport à une situation normale puisqu'ils ne peuvent y accéder.

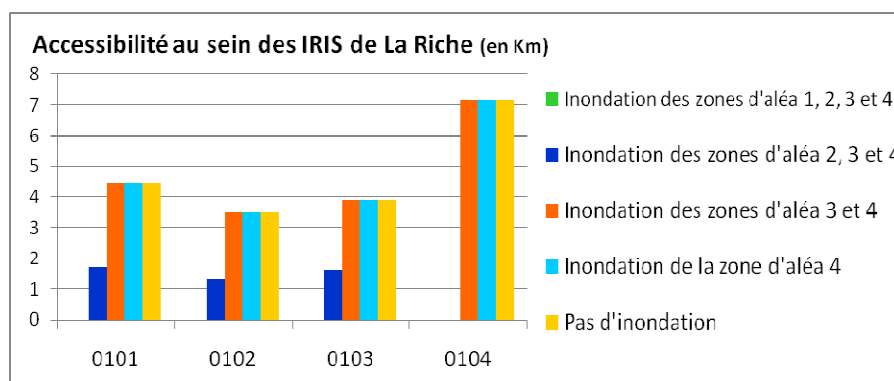


Figure 9 : Accessibilité au sein des IRIS de la commune de La Riche dans différentes situations d'inondations

- Les centres des IRIS ne se trouvent pas en zone inondable mais une partie des routes sont coupées et les itinéraires proposés sont alors plus longs. C'est ce qui se passe pour les IRIS de Ballan-Miré en cas d'inondation des zones d'aléa moyen, fort et très fort. En effet, les trois IRIS sont accessibles mais les chemins empruntés sont plus longs qu'en temps normal.

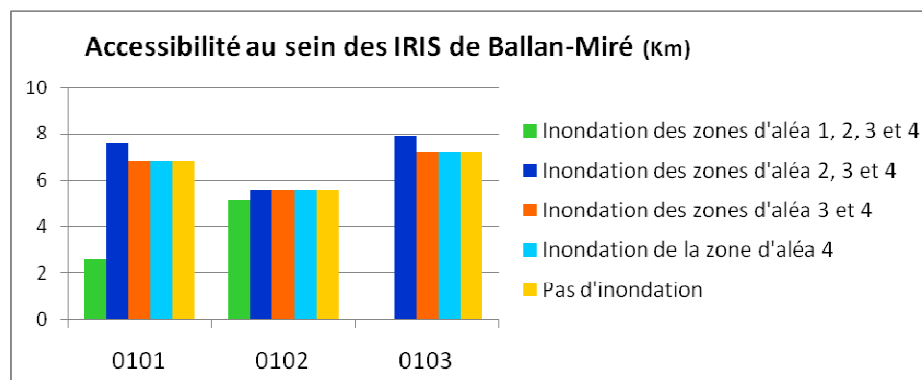


Figure 10 : Accessibilité au sein des IRIS de la commune de Ballan-Miré dans différentes situations d'inondations

Pour la commune de Tours, le nombre d'IRIS est très important. Ainsi, les distances cumulées sont beaucoup plus importantes que pour les autres communes, les valeurs allant de 170 à 1060 km sans inondations contre des distances cumulées comprises entre 3 et 80 km pour les IRIS des autres communes.

Les IRIS de Tours Centre sont inaccessibles en cas de crue majeure et l'accessibilité au cours des autres scénarii y varie relativement peu (+/- 15 km). Le même phénomène est présent pour les IRIS situés à Tours Nord, accessibles entre eux en période de crue. Leur accessibilité varie au cours des autres scénarii entre 0 et 10 km. Par contre, les IRIS de Tours sud, inaccessibles en cas de crue majeure et accessibles entre eux en cas d'inondation sur les zones d'aléa moyenne, forte et très forte, ont des accessibilités qui varient ensuite fortement (+/- 500 km). En effet, ils ne peuvent accéder au reste de la ville qu'à partir d'une inondation ne recouvrant que les zones d'aléa forte et très forte.

Toutefois, ces résultats sont à nuancer puisqu'ils sont obtenus sans que le pont de Sanitas (N10) ne puisse être utilisé ce qui fausse donc les résultats pour les IRIS de Tours Sud et Tours Centre qui devraient pouvoir communiquer du moment que la zone d'aléa faible n'est pas inondée. De même deux quartiers ne permettent pas de circuler selon le logiciel. Nous avons rencontré des erreurs dans le sens de circulation, défini de la même façon pour des routes contiguës mais ne permettant pas de circuler dans le même sens.

Ces calculs seuls ne nous permettent pas d'estimer la vulnérabilité globale des communes. Cependant, en intégrant leurs résultats dans la méthode de hiérarchisation par multicritère cela pourra se faire.

12. Des accessibilités variables en fonction des enjeux

Nous avons considéré deux types d'enjeux à évacuer et les avons traités de façons différentes. En effet, toute la population est à évacuer, mais la majorité est capable de se déplacer par elle-même, tandis qu'une partie de la population ne le pourra pas, notamment dans des établissements tels que les maisons de retraite, les hôpitaux, les centres d'accueil pour personnes handicapées,... et aura besoin d'être évacuée grâce à des interventions extérieures aux établissements.

Le choix des enjeux à évacuer a été fait avec l'utilisation de la méthode multicritère et sera donc expliqué par la suite. Cependant, le calcul des accessibilités à l'échelle des IRIS a permis d'ajuster la liste des enjeux sélectionnés.

Pour pouvoir mesurer la vulnérabilité des enjeux, nous avons également besoins d'évaluer leur accessibilité. Ainsi donc, pour les enjeux prioritaires et particuliers, nous avons décidés de calculer pour chacun leurs d'accessibilité tandis que pour la population, ces calculs seront réalisés à l'échelle de l'IRIS. En effet, au vu du nombre de bâtiments qui seraient à prendre en compte pour considérer toute la population, il serait très difficile de calculer l'accessibilité pour chaque enjeu et cela ne serait pas toujours pertinent puisque le temps de parcours entre deux enjeux voisins serait minime. Pour les deux catégories d'enjeux sera calculé l'accessibilité depuis le centre d'accueil le plus proche puis ensuite l'accessibilité vers un centre d'accueil permettant d'accueillir la population évacuée. Ces calculs seront réalisés hors période d'inondation et en période d'inondation majeure.

En fonction de la catégorie de population à évacuer, les centres d'accueil seront différents. La population apte à se déplacer seule sera envoyée vers des centres d'hébergements temporaires tels que des gymnases, salle des fêtes voire dojo ou tennis couvert, tandis que les personnes ne pouvant pas se déplacer seule ou nécessitant une assistance particulière seront dirigées vers des centres d'accueil adaptés. Ainsi, des personnes âgées seront envoyées vers d'autres maisons de retraite, médicalisées ou non selon leurs besoins, les centres d'accueil d'enfants en difficultés seront temporairement envoyés dans d'autres centres équivalents.

Pour cela, il donc fallu créer des bases de données par type d'enjeu et par type de population pouvant être accueillie.

Cependant, nous avons choisis de ne pas considérer comme centre d'accueil possible les centres situés directement dans la zone inondable ou eux qui ne seraient plus accessible, comme ceux qui seraient présents entre la Loire et le Cher dans les zones non inondables sur la commune de Tours (vieux Tours, quartier des Deux Lions, Zone industrielle du Menneton, quartier des rives du Cher et partie du quartier des Fontaines). En effet, il n'y a aucun intérêt à diriger une partie du centre de Tours vers des centres d'accueils qui ne pourraient être ensuite atteints et donc ravitaillés en nourriture ou en eau, et qui n'auraient plus d'accès à l'eau potable ou à l'électricité.

Lors de l'évacuation de la population, les centres de secours ont un rôle dans son organisation plutôt que dans l'évacuation elle-même des personnes. Ils agiront en priorité pour aider à l'évacuation des hôpitaux Bretonneau et Clocheville, puis pourront ensuite intervenir pour mettre en place des moyens de protection et pour évacuer des personnes récalcitrantes. De plus, une partie des centres de secours est aussi située en zone inondable, ils devront donc aussi évacuer leurs propres locaux.

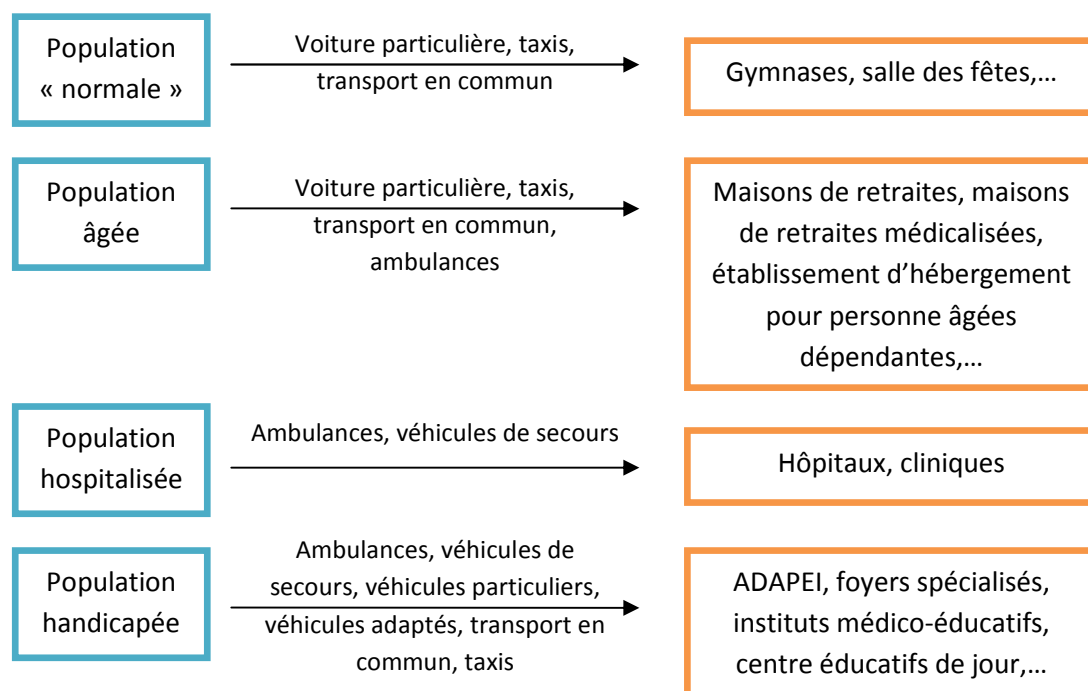


Figure 11 : Principe d'évacuation de la population utilisé pour le calcul de l'accessibilité des enjeux

Pour réaliser ces calculs, il faut :

- rechercher pour un enjeu les itinéraires les plus courts menant à tous les centres d'accueils possibles de l'agglomération et prendre le minimum dans la catégorie de centre d'accueil concerné en durée et en distance
- réaliser ces calculs pour tous les enjeux de l'agglomération
- représenter les résultats obtenus.

L'utilisation de Chronomap permet de réaliser tous les calculs d'itinéraires entre enjeux et centre d'accueil ou entre centre d'intervention et enjeux. Il faut ensuite à sélectionner la valeur minimale par exemple avec Excel et il reste à réinjecter ces résultats dans Mapinfo pour les représenter.

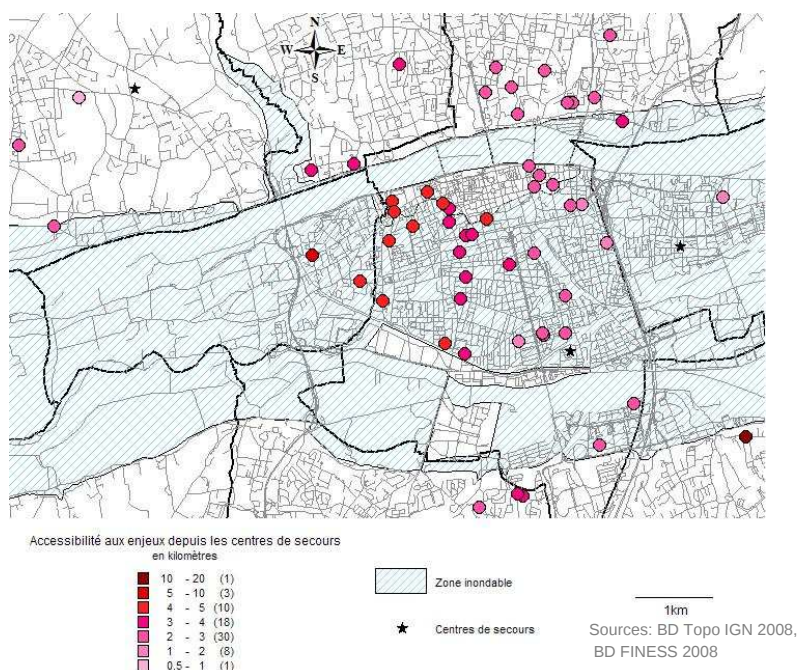
a) L'accessibilité des enjeux prioritaires

En cas d'inondation prévue, les hôpitaux de toute l'agglomération ne garderaient dans leurs services que les patients nécessitant des soins indispensables. De même, les maisons de retraites, centres d'accueil de personnes handicapées,... s'arrangeraient le plus possible pour que leurs résidents puissent être accueillis dans leurs familles lorsque celles-ci résident en dehors des zones à risques. Il est en effet moins difficile, perturbant et stressant pour ces personnes fragiles de résider dans leurs familles plutôt que d'être dirigées, pas forcément dans de bonnes conditions, vers des centres d'accueil non adaptés et bruyants. Toutefois, certaines personnes seront tout de même à évacuer, en priorité vers des centres adaptés et en dernier recours dans les centres accueillant toute la population évacuée.

Les différences d'accessibilités depuis les centres de secours vers les enjeux entre les périodes précédant l'inondation et l'inondation

- En considérant la période précédant l'inondation, les enjeux les plus accessibles sont évidemment ceux qui sont situés le plus près des centres de secours. Les enjeux dont les temps de parcours sont les plus longs sont situés à Saint-Avertin, La Riche et dans le Centre de Tours.

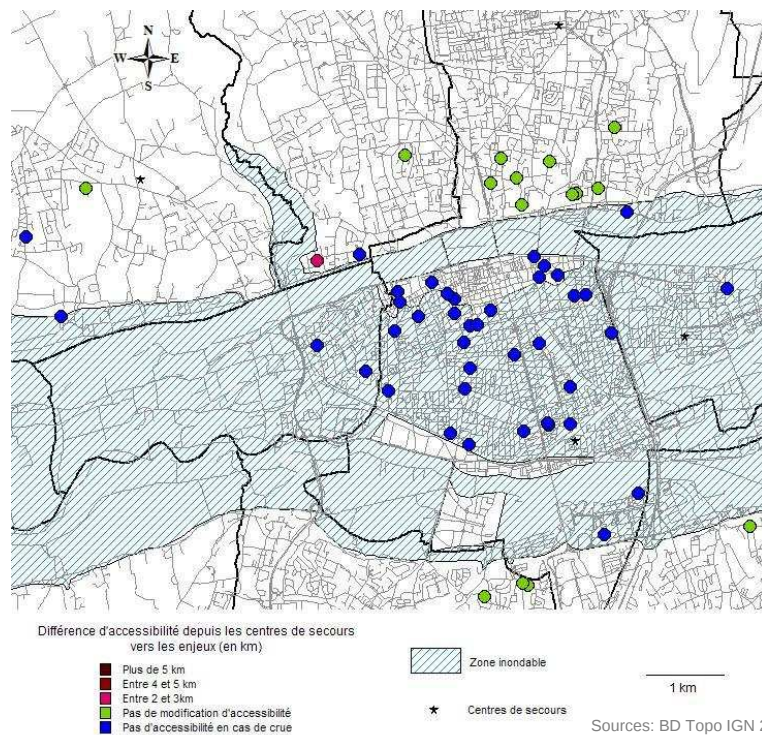
Dans le cas de Saint-Avertin, la raison de ce trajet aussi important est que le centre de secours le plus proche n'est pas situé sur la commune même. Pour les enjeux situés dans le centre de Tours, les trajets paraissent relativement longs à effectuer. Cela peut être dû au maillage très serré du centre ville, comportant de nombreuses routes à sens unique. Ainsi, le véhicule d'intervention devra traverser de très nombreuses intersections souvent règlementées par des feux tricolores ralentissant le parcours.



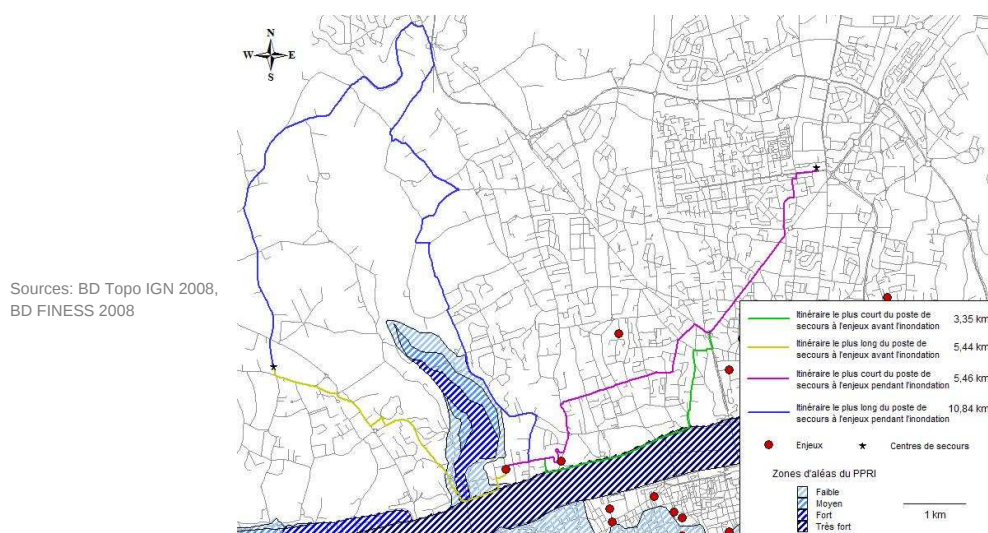
Carte 5 : Accessibilité des enjeux depuis les postes de secours avant une inondation

- Lors d'une crue majeure, l'accessibilité des enjeux situés à proximité des centres de secours en dehors des zones inondables ne varie pas. Pour les enjeux situés à Luynes, l'accessibilité en période inondée augmente fortement (+4,2 km pour le centre hospitalier et 5,4 km pour l'institut médico-éducatif). Pour la maison d'accueil familial située à Saint-Cyr-sur-Loire, la zone inondable créée par l'affluent la Choissille ne permet plus d'accéder rapidement au poste de secours de Fondettes et définit alors le centre de Tours nord comme le plus proche, ce qui augmente le temps de parcours (cf. carte 7 pour voir les itinéraires empruntés). Enfin, les enjeux situés entre la Loire et le Cher, essentiellement dans le centre de Tours, ne sont plus du tout accessibles, même pour ceux qui ne sont pas directement situés dans la zone inondable.

Les enjeux à évacuer impérativement avant l'inondation seront donc ceux qui dans la zone inondable puis ceux qui sont entourés de zones inondables (par exemple le vieux Tours).



Carte 6 : Différence de l'accessibilité des enjeux depuis les postes de secours entre la période précédant l'inondation et l'inondation

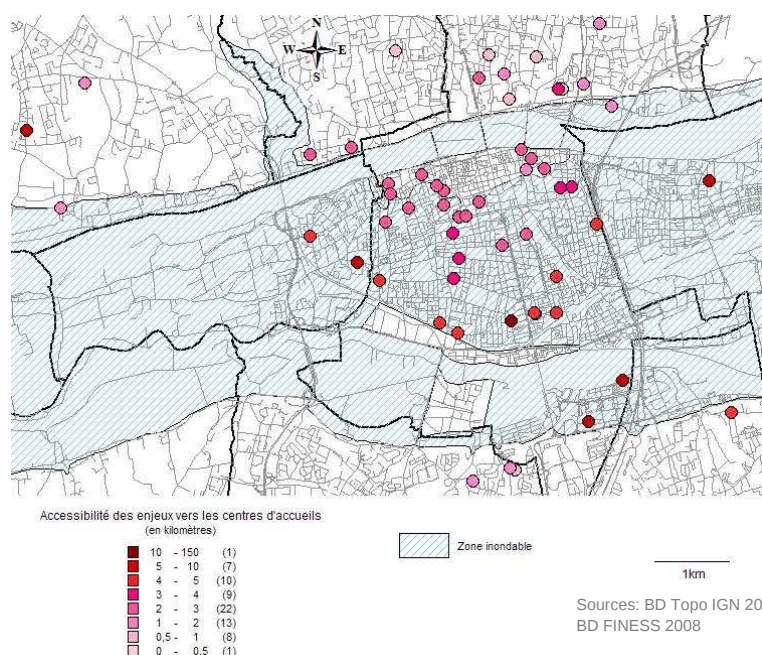


Carte 7 : Itinéraires entre les centres de secours de Fondettes et de Tours Nord et la maison d'accueil familial de Saint-Cyr-sur-Loire

Les différences d'accessibilités depuis les enjeux vers les centres d'accueil entre les périodes précédant l'inondation et l'inondation

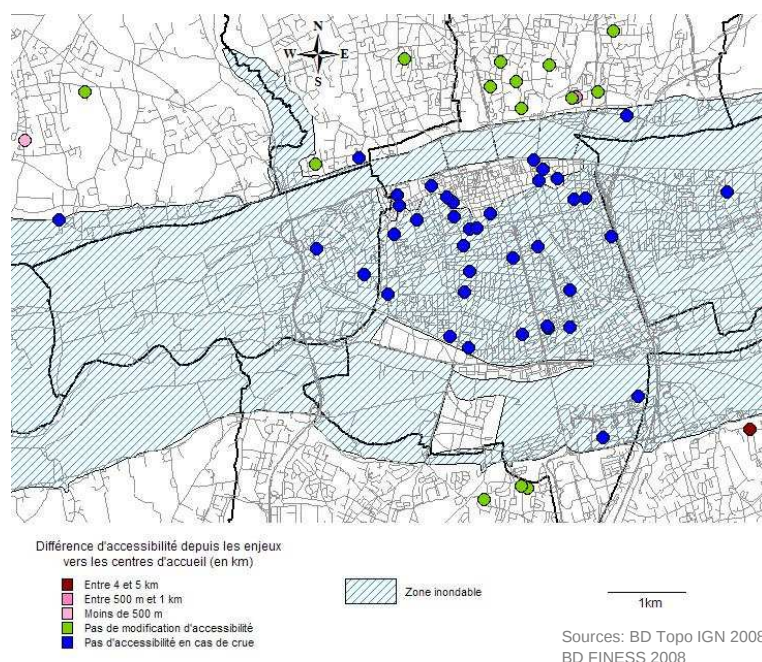
- En considérant la période précédant l'inondation, les enjeux choisis pour l'utilisation de la méthode multicritère sont accessibles à moins de 10 kilomètres. La seule exception est la maison d'arrêt qui doit être évacuée vers un autre centre et de façon sécurisée. Nous avons supposé qu'en cas d'inondation majeure de la Loire, la prison du Mans serait une possibilité d'accueil. En effet, les prisons situées dans des communes traversées par la Loire ou l'Indre seraient elles aussi à évacuer en cas de crue. La ville du Mans à l'intérêt de ne pas être située à proximité d'un cours d'eau qui pourrait être en crue au même moment que la Loire.

A la différence des autres cartes, celle-ci ne montre pas les centres d'accueils de la population car ils sont relativement nombreux et ils ne peuvent pas tous accueillir le même type de population.



Carte 8 : Accessibilité des enjeux vers les centres d'accueil de la population avant une inondation

- En considérant une crue majeure, l'accessibilité des enjeux situés en dehors des zones inondables ne varie quasiment pas hormis dans le cas de la Pouponnière « Beau Site » du Centre Hospitalier Régional car les itinéraires les plus court menant à l'Hôpital Trousseau sont alors coupés.



Carte 9 : Différence de l'accessibilité des enjeux vers les centres d'accueil de la population entre la période précédant l'inondation et l'inondation

b) L'accessibilité des IRIS pour diriger l'évacuation de la population.

L'évacuation de la population se fait en deux temps. D'abord la population est dirigée vers un point de rassemblement, endroit où elle sera informée d'un lieu d'accueil, puis elle s'y rendra. Les lieux de rassemblement peuvent être des stades de foot, des parkings de supermarché-hypermarché,... quant aux lieux d'accueil, cela peut être des gymnases, des salles des fêtes, de grands groupes scolaires, notamment ceux avec internat,... Toutefois, pour évacuer toute la population située en zone à risque, il faudrait une surface minimale équivalente à celle de la base aérienne de Tours (320 hectares d'emprise au sol²⁷)²⁸.

Il faut toutefois savoir qu'une partie de la population se trouvera d'elle-même un lieu de résidence temporaire, tel que des résidences secondaires, des accueils dans de la famille, chez des amis,... et n'aura donc pas besoin d'être hébergée.

L'accessibilité est calculée de deux façons, en prenant la valeur minimale de durée ou de distance :

- entre le centre de secours le plus proche et le centroïde de l'IRIS
- entre le centre d'hébergement d'urgence le plus proche et le centroïde de l'IRIS.

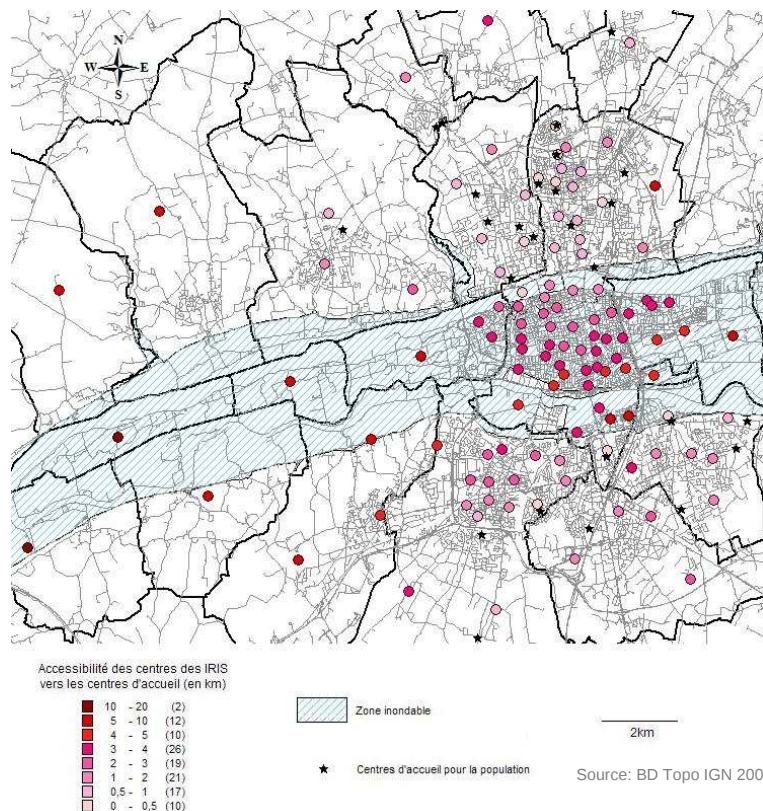
Ces deux calculs permettront d'obtenir les itinéraires les plus courts, avec leurs durées et leurs distances à parcourir pour les pompiers lors de l'évacuation des personnes en difficultés, mais aussi les itinéraires à fournir à la population pour qu'elle puisse évacuer sans risque vers un centre d'hébergement.

Les différences d'accessibilités depuis les centres de secours vers les IRIS entre les périodes précédant l'inondation et l'inondation

- En considérant la période précédant l'inondation, comme pour les enjeux prioritaires, les IRIS dont les centres sont les plus accessibles sont ceux situés à proximité directe des centres de secours. Dans le centre de Tours, les temps d'accessibilité sont relativement élevés, même à proximité des centres de secours. Ceci peut être dû au fort nombre d'intersections et au plan de circulation comportant de nombreuses voies à sens unique qui augmentent considérablement le parcours.

²⁷ <http://www.aeroport.fr/les-aeroports-de-l-uaf/tours-val-de-loire.php>

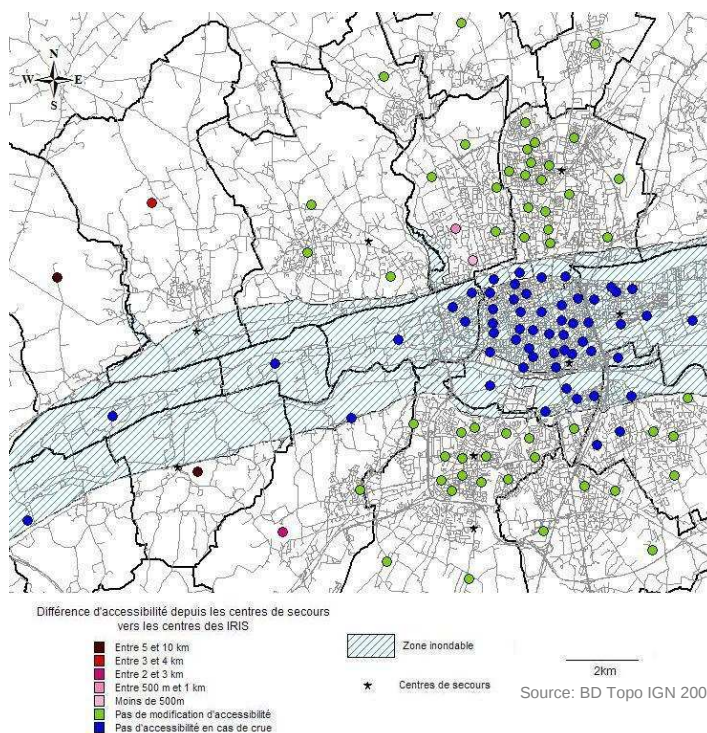
²⁸ D'après Mr Verrière, responsable de l'unité SAD/DECRIIT à la DDT 37



Carte 10 : Accessibilité des IRIS depuis les postes de secours avant une inondation

- En considérant une crue majeure, l'accessibilité depuis les centres des IRIS situés à proximité des centres de secours hors de la zone inondable ne varie pas.

Les Iris situés dans les zones inondables deviennent totalement inaccessibles. Deux des IRIS de Saint-Cyr-sur-Loire voient leurs temps de parcours modifiés à cause de la zone inondable liée à la Choissille qui coupe l'accès direct depuis le centre de secours de Fondettes.

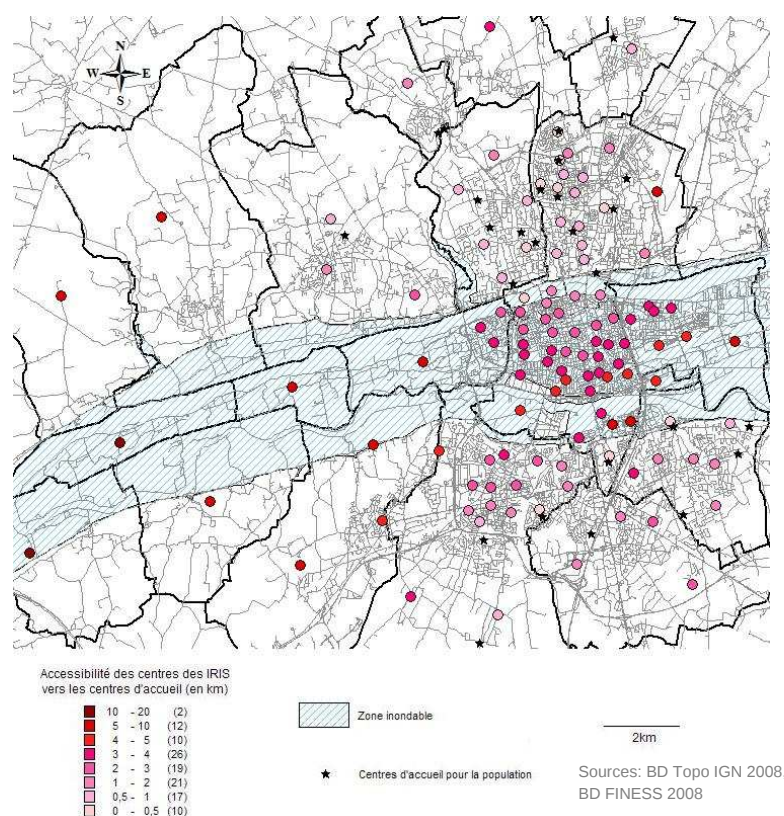


Carte 11 : Différence de l'accessibilité des IRIS depuis les postes de secours entre la période précédant l'inondation et l'inondation

Les différences d'accessibilités depuis les enjeux vers les centres d'accueil entre les périodes précédant l'inondation et l'inondation

- En considérant la période précédant l'inondation, les IRIS dont les centroïdes sont les plus accessibles sont ceux situés à proximité immédiate des centres de secours. Les communes de Bertenay, Villedary, puis Saint-Genouph, Savonnières Luynes et Saint-Etienne-de-Chigny seront les plus longues à évacuer en termes de distance de parcours. Pour les autres communes touchées par les inondations, les distances de parcours seront plus importantes pour les IRIS situés à proximité du Cher. En effet, le nombre de ponts permettant de le traverser est plus faible que pour la Loire et une certaine inégalité dans le nombre de centres d'accueil existe entre le Nord (17 centres) de l'agglomération et le Sud (8 centres).

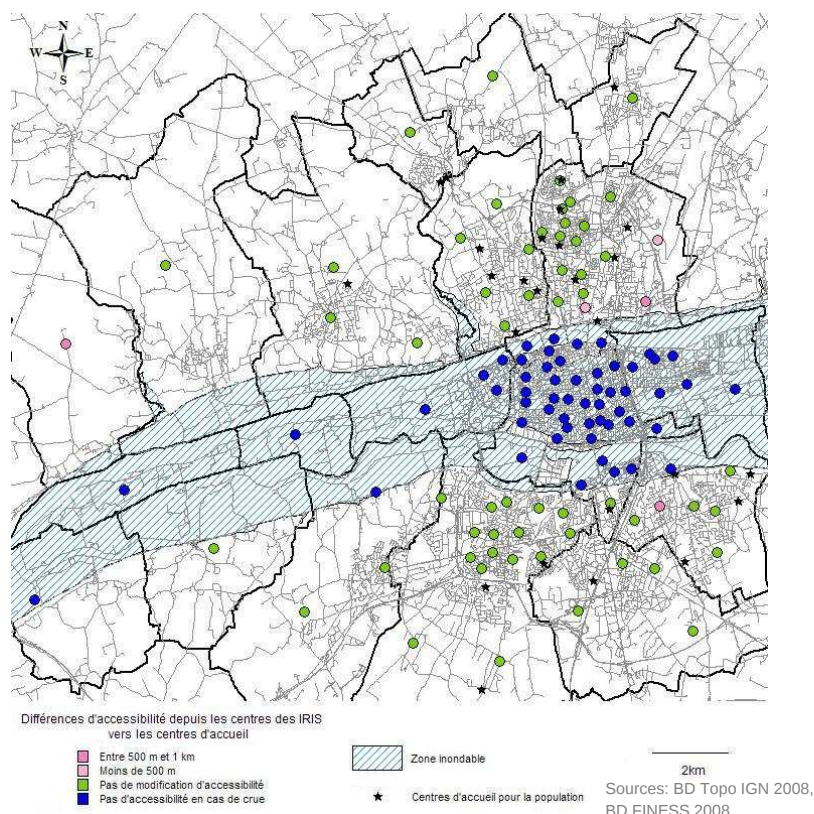
Les IRIS situés entre la Loire et le Cher devront répartir leur évacuation vers le Nord et vers le Sud de l'agglomération. Le nombre de ponts utilisables et la densité des centres d'accueil potentiels plus importants vers le Nord de l'agglomération en font un lieu d'orientation privilégié pour la population. Ceci est corroboré par le fait que, même pour des enjeux qui paraissent visuellement plus proches de centres d'accueil situés dans le Sud de l'agglomération, la distance à parcourir nécessaire pour traverser le Cher aboutie à des itinéraires finalement plus long qu'un accueil au Nord de l'agglomération. Ainsi, la majorité des enjeux situés dans le centre de Tours, sur la Riche ou sur Saint-Pierre-des-Corps sont évacués vers Tourd nord sur la carte suivante.



Carte 12 : Accessibilité des IRIS vers les centres d'accueil de la population avant une inondation

- En considérant une crue majeure, l'accessibilité des IRIS dont le centre n'est pas situé en zone inondable ne varie que très peu (modifications minimales pour cinq centroïdes d'IRIS). Les plus grosses différences se font pour les centroïdes des IRIS

localisés dans la zone inondable puisqu'ils deviennent inaccessibles. Ce seront donc ces IRIS qui seront à évacuer en priorité.



Carte 13 : Différence de l'accessibilité des IRIS vers les centres d'accueil de la population entre la période précédant l'inondation et l'inondation

Enfin, en considérant les distances minimales nécessaires à l'évacuation en période normale et la différence de distance à parcourir entre les deux scénarii, nous pouvons estimer que les IRIS qui seraient à évacuer en priorité seront ceux qui verraient l'eau arriver en premier (du côté Est) soit Saint-Pierre-des-Corps et Saint-Avertin. Ensuite l'évacuation des communes qui seraient touchées plus tard (Tours, La Riche, puis Ballan-Miré, Saint-Genouph, Savonnières, Bertenay, ...) serait à réaliser de manière coordonnée.

Le critère de d'accessibilité en termes de distance ou temps de parcours ne peut permettre de définir à lui seul les enjeux ou secteurs à évacuer en priorité. En effet, d'autres éléments doivent entrer en compte, comme le nombre de personne à évacuer, la fragilité de la population, le nombre d'étage du bâtiment à évacuer,... Cependant, l'accessibilité reste un paramètre important pour déterminer la vulnérabilité des enjeux, du territoire et donc du réseau de transport..

La partie suivante de ce PFE tentera de réaliser ce choix, grâce aux résultats des calculs d'accessibilité et aux résultats de la hiérarchisation des enjeux et des IRIS par la méthode multicritère.

2. Hiérarchisation des enjeux et des IRIS à évacuer, approche multicritère (AUROY Diane-Claire)

Dans ce PFE, l'approche multicritère est en fait une méthode d'aide à la décision multicritère. Elle a pour objectif de déterminer l'ordre dans lequel l'évacuation de la population devra être réalisée. Pour cela, nous avons utilisé un logiciel appelé ELECTRE III.

L'aide à la décision multicritère est un outil utilisé dans des situations où plusieurs décideurs, dont les points de vue ou les objectifs sont divergents. En effet, elle permet la prise en compte de différents points de vue grâce à de multiples critères et de trouver le meilleur compromis possible pour tous les acteurs. L'aide à la décision est donc un processus qui utilise un ensemble d'informations disponibles à un instant donné, afin de formuler un problème et d'aboutir à une décision sur un objet précis. Dans le cadre de la décision multicritère, l'objet de la décision est formé par un ensemble d'actions ou d'alternatives. L'intérêt des méthodes multicritères est de considérer un ensemble de critères de différentes natures, exprimés dans des unités différentes, sans nécessairement les transformer en critères économiques.

Les étapes de l'aide à la décision multicritères :

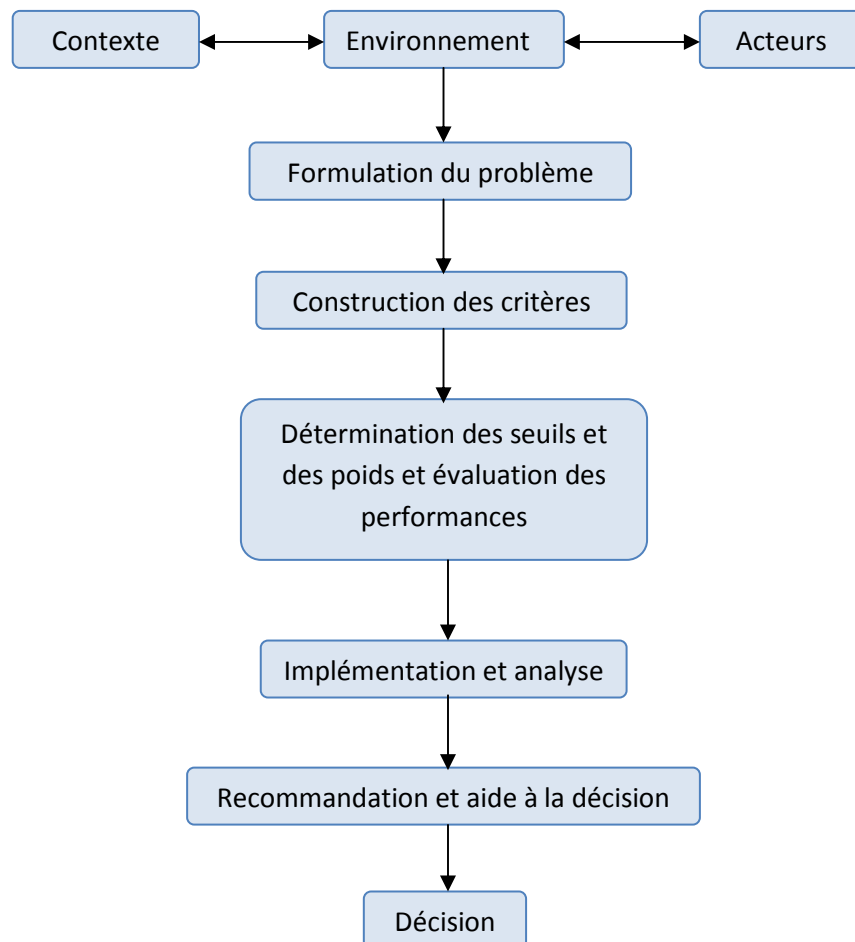


Figure 12 : Les étapes de la démarche de l'aide à la décision

Dans le reste de cette partie, nous nous attacherons donc à définir les actions, les seuils et les performances. Le but étant de réussir à classer les enjeux et les IRIS dans leurs ordres d'évacuation. Pour cela nous allons utiliser la méthode ELECTRE III.

21. ELECTRE III

a) La méthode ELECTRE III

Les méthodes désignées d'analyse multicritère sont des outils d'aide à la décision qui sont développées depuis les années soixante. De nombreuses méthodes ont été proposées afin de permettre aux décideurs de faire un bon choix. Les premières méthodes d'analyse multicritère à sortir furent les méthodes ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant la REalité). Ces méthodes ont été développées par Bernard Roy à partir de 1968, année d'émission de ELECTRE I. Le chercheur a ainsi initié toute une série de méthodes dites de surclassement basées sur des comparaisons d'actions deux à deux. Après ELECTRE I, vont suivre ELECTRE II, ELECTRE III, et ELECTRE IV, toutes variantes d'ELECTRE I.

La méthode Electre-III est une méthode d'analyse multicritère qui permet de résoudre des problèmes de classement, la méthode s'appuie sur la définition d'une relation de surclassement S permettant de comparer deux actions a et b distinctes.

En considérant un ensemble d'actions $A = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_m\}$, il s'agit de classer les actions en les comparant par paires. Chaque action est donc comparée aux autres sur la base des critères considérés. L'évaluation des actions est effectuée par une fonction réelle, pour chaque critère on définit l'ensemble $G = \{g_1, g_2, \dots, g_n\}$ contenant l'évaluation de l'action sur l'ensemble des critères.

L'importance des critères dans la prise de décision est évaluée par un ensemble de poids $K = \{k_1, k_2, \dots, k_n\}$. Pour cette méthode, les seuils d'indifférence, de préférence et de veto sont fonction de l'évaluation de l'action pour chaque critère. Pour une action a , évaluée par $g_j(a)$ pour le critère j , dans ce cas le seuil d'indifférence est noté $q_j(g_j(a))$, le seuil de préférence par $p_j(g_j(a))$ et le seuil de veto par $v_j(g_j(a))$.

Nous utilisons le logiciel ELECTRE III® développé par le LAMSADE pour l'implémentation de la méthode, le logiciel requiert une définition des seuils d'indifférence, de performance et de veto sous forme d'une fonction affine de type :

$$q_j(g_j(a)) = \alpha_j \cdot g_j(a) + \beta_j$$

$$p_j(g_j(a)) = \alpha_j \cdot g_j(a) + \beta_j$$

$$v_j(g_j(a)) = \alpha_j \cdot g_j(a) + \beta_j$$

avec $\alpha > -1$ si la préférence est croissante et $\alpha < 1$ si la préférence est décroissante.

Le résultat final est un préordre partiel, c'est-à-dire que les ex æquo sont permis et que l'incomparabilité est tolérée.

En conclusion, ELECTRE III est une méthode très complète et qui exploite l'information en sauvant un maximum de nuances et avance des conclusions bien

fondées. En contrepartie, elle offre un maniement délicat et elle est pénalisée par sa propre complexité concernant la compréhension de la méthode par le décideur.

La méthode ELECTRE III à l'avantage de permet de construire chaque critère indépendamment des autres, cela permet de prendre en compte aussi bien des critères quantitatifs que qualitatifs. Le nombre de critères n'est pas figé, il est possible d'en ajouter ou d'en supprimer, mais aussi de changer leurs pondérations. La lecture du résultat est aisée grâce à un tableau et des graphiques.

b) Présentation du logiciel

Dans cette partie, nous allons faire une présentation succincte de la version d'ELECTRE, ainsi que les principales fonctions du logiciel qui ont été utilisé. L'interface du programme est simple avec une barre de menu et une barre pour des raccourcis. Dans le menu fichier, nous trouvons les fonctions suivantes : Nouveau projet, Ouvrir projet, Enregistrer, Enregistrer sous, Effacer projet, Importer fichier ASCII, Exporter fichier ASCII, Imprimer, Configuration impression et la fonction Quitter.

Les commandes exporter et importer un fichier ASCII ont été très pratique. En effet, une fois le nouveau projet créer et les différents critères renseignés, la commande exporter à permis de créer un fichier texte. Dans ce fichier, il est ensuite possible de coller les actions avec leurs performances respectives. Le fichier ainsi complété peut-être importé et converti dans un projet. Cette opération permet de passer les actions et leurs performances d'un tableur au logiciel ELECTRE sans avoir à entrer manuellement toutes les valeurs.

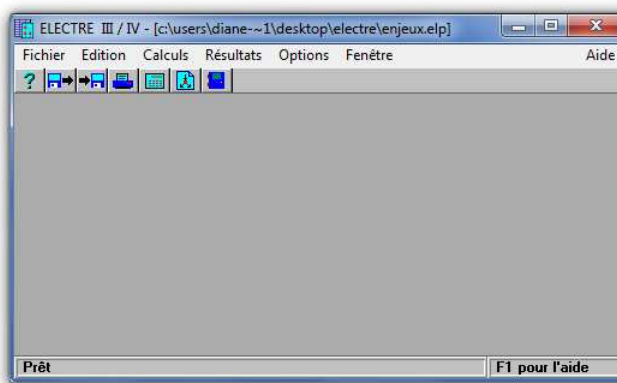


Figure 13 : Présentation de l'interface du logiciel

Le menu éditer permet de consulter et de modifier les références du projet, elles comprennent le nom du propriétaire, la description du projet et le type du jeu de données. Il y a aussi des fonctionnalités pour créer, insérer, modifier et effacer les critères et les actions, dans cet exercice les actions sont les enjeux et les IRIS. Dans ce menu, il y a aussi la commande seuils, qui permet de saisir, d'afficher et de modifier les valeurs des coefficients des fonctions seuils sur chaque critère.

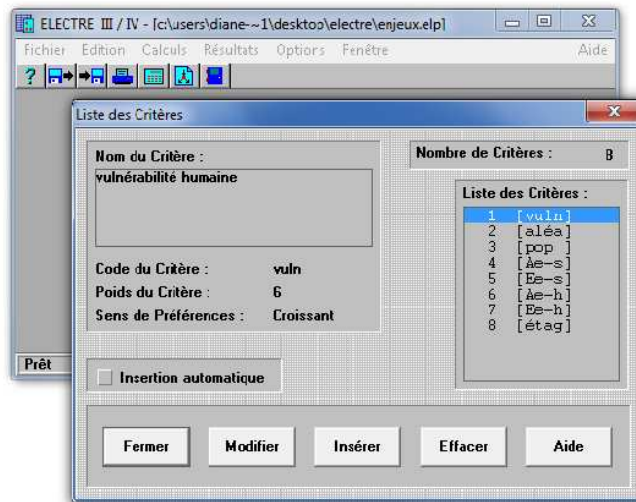


Figure 14 : Exemple de la fenêtre des critères

La commande performance sert à saisir, afficher et modifier le tableau de performance des actions, elle permet grâce au tableau des performances d'afficher un récapitulatif des critères, des actions et de leurs performances respectives. L'image suivante est un exemple d'un des tableaux de performances obtenu dans ce PFE.

Editer les Performances

	vuln	alea	pop	Ae-s	Ee-s	Ae-h	Ee-h	etag
enj1	2	1	788	16.93	60	11.6	60	2
enj2	3	0	167	9.98	60	7.75	60	2
enj3	2	1	215	12.82	60	9.58	60	2
enj4	3	1	84	15.22	60	10.78	60	2
enj5	1	1	62	9.5	60	20.68	60	2
enj6	3	0	103	8	60	21.92	60	2
enj7	1	1	62	10.17	60	16.6	60	2

Nombre de Critères: 8

Nombre d'Actions: 7

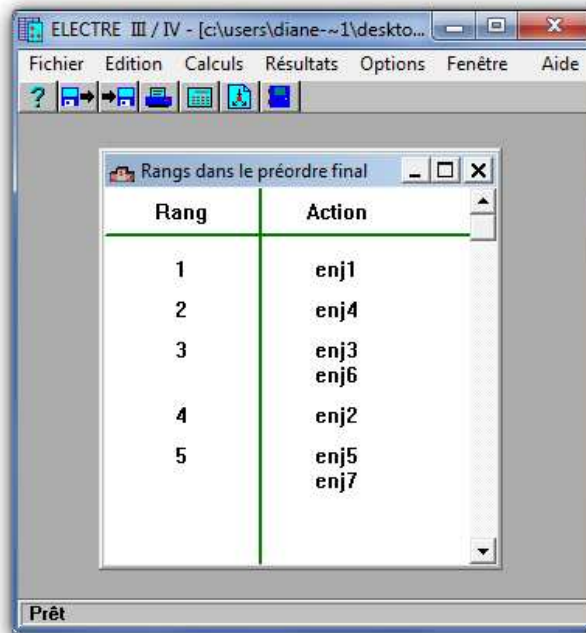
2

Fermer

Aide

Figure 15 : Exemple de tableau de performance

Dans le menu résultat, seules deux commandes nous ont servi. Il s'agit du préordre final, qui permet d'afficher la liste des actions de chaque rang du préordre final, obtenu comme intersection des préordres complets issus de la distillation descendante et de la distillation ascendante. Cette commande ne permet de visualiser que les rangs de chaque action, les situations d'incomparabilité n'apparaissent pas.



Rang	Action
1	enj1
2	enj4
3	enj3 enj6
4	enj2
5	enj5 enj7

Figure 16 : Exemple de résultat, préordre final

La deuxième commande du menu résultat servant dans ce PFE est la commande graphe. Elle permet d'afficher le graphique représentant le préordre obtenu par l'application de l'algorithme de rangement de ELECTRE.

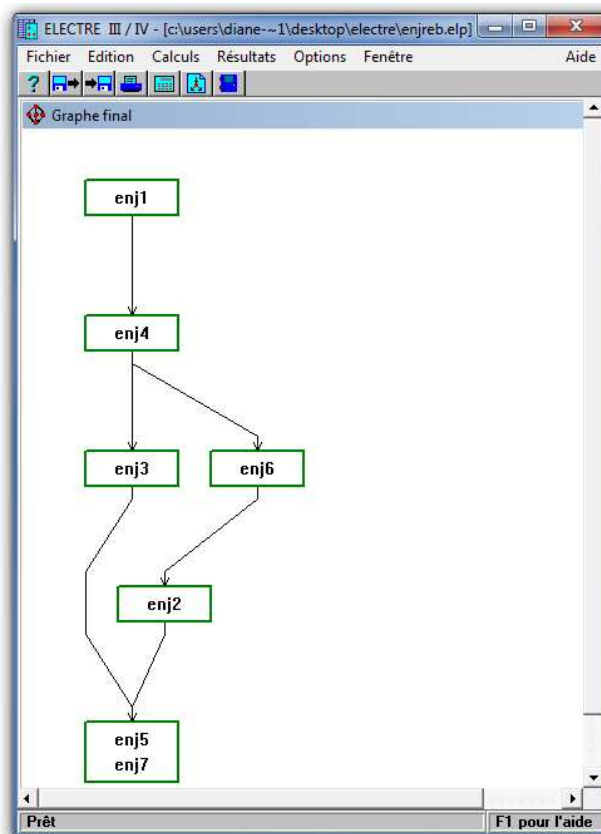


Figure 17 : Exemple de résultat : représentation graphique

22. Construction des critères, des performances et des pondérations

La construction des critères est une étape délicate qui nécessite une compréhension du problème posé et une interaction avec les acteurs impliqués dans la prise de décision. Il s'agit d'identifier les enjeux et la nature des conséquences possibles sur l'objet de la décision, c'est-à-dire les actions considérées. La définition des critères nécessite par la suite une évaluation de la contribution et l'influence de chaque critère dans la décision finale. Ceci se traduit par des pondérations qui sont définies par les acteurs impliqués ou bien obtenus par un processus itératif. Dans ce chapitre, nous allons présenter les critères, les pondérations et les performances que nous avons choisies.

Cas des enjeux prioritaire à population vulnérable

Cette partie a pour but de définir les critères, les performances et les pondérations qui seront ensuite utilisés dans l'outil multicritère ELECTRE III, pour définir l'ordre dans lequel les enjeux retenus devront être évacués de façon prioritaire.

La sélection des enjeux traités est faite à l'échelle de la communauté d'agglomération de Tour(s)plus. Pour ce travail, certains enjeux importants tels que les mairies, les entreprises ou les écoles, ont été écartés, ils sont cependant traités à une autre échelle, celle de l'IRIS. En effet, nous avons décidé pour les enjeux prioritaires de considérer des établissements dont l'évacuation nécessite la participation des services de secours, par exemple le CIS de Tours ou le SDIS de Fondettes ou les services ambulanciers privés, car une grande partie des occupants sont des personnes dites vulnérables souvent accueillies en semi-internat ou internat.

Les personnes vulnérables sont des personnes qui sont incapables, totalement ou partiellement, de protéger leurs propres intérêts. Cela veut dire que certaines de leurs capacités sont insuffisantes pour leur permettre de sauvegarder leurs intérêts. Ces incapacités peuvent être physiques, mentale, Les catégories de personnes traditionnellement considérées comme vulnérables comprennent les handicapés mentaux ou physiques, les personnes âgées, les enfants. D'autres groupes de personnes peuvent être inclus comme les pensionnaires de maisons de retraite, des personnes recevant des prestations ou une aide sociale, les patients hospitalisés

a) Sélection des enjeux prioritaires

Les enjeux prioritaires sont issus de la base de données FINESS qui répertorie les établissements du domaine sanitaire et social dont l'ouverture est soumise à autorisation ou agrément de la part du ministère ou ses services déconcentrés ou des collectivités territoriales. Sur toute la France, il y a 90 000 établissements recensés dans cette base de données.

On y trouve différents types d'établissements :

- Les établissements sanitaires, cette catégorie regroupe les établissements publics de santé, les établissements de santé privés, les établissements de prévention et d'autres établissements sanitaires tels que les laboratoires d'analyse.
- Les établissements sociaux et médico-sociaux, cela comprend les établissements d'hébergement pour personnes âgées, les établissements pour enfants et adultes handicapés, les établissements et services sociaux d'accueil, d'hébergement et de réadaptation pour les personnes en difficultés et les établissements pour la protection de l'enfance.
- Les établissements pour la protection de l'enfance.

La base de données FINESS qui est utilisée dans ce PFE est à l'échelle du SCoT de Tours. Comme notre périmètre d'étude se limite à la Communauté d'agglomération de Tours, les enjeux ne faisant pas partis de notre territoire sont exclus de notre travail. Après réalisation de cette opération, le nombre d'enjeux prioritaires s'élève à 131. La carte des enjeux géolocalisés est ensuite croisée avec la carte des zones d'aléa.

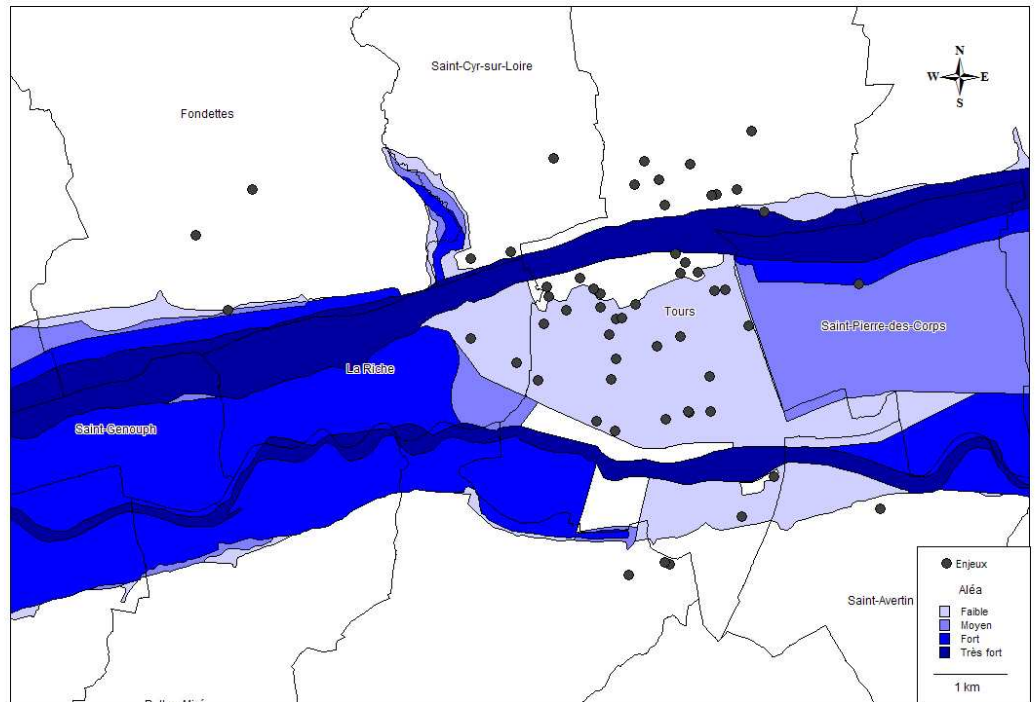
La seconde étape de la sélection des enjeux consiste à supprimer les établissements qui sont localisés dans les communes qui ne sont pas du tout concerné par le PPRI. Ce sont les communes de Chambray-lès-Tours, Mettray, La Membrolle-sur-Choisille et Notre Dame d'Oé. Les enjeux situés en hauteur sur les plateaux ne sont pas considérés comme inondables, ces enjeux sont donc aussi écartés de notre sélection des enjeux prioritaires. Suite à notre entretien à la DDT avec Monsieur VERRIERE, responsable de l'unité SAD/DECRI, chargé du dossier de l'évacuation préventive de la ville de Tours ; nous avons décidé de rajouter la maison d'arrêt de Tours comme enjeu prioritaire. Les établissements retenus sont au nombre de 70, ils sont présentés par catégorie dans le tableau suivant :

Tableau 5 : Tableau récapitulatif des types d'enjeux par catégorie

Catégorie	Nombre
Appartement de Coordination Thérapeutique (A.C.T.)	1
Atelier Thérapeutique	1
Autre Centre d'Accueil	2
Centre Accueil Demandeurs Asile (C.A.D.A.)	1
Centre Action Médico-Sociale Précoce (C.A.M.S.P.)	2
Centre d'Accueil Familial Spécialisé	1
Centre de Jour pour Personnes Agées	1
Centre Hospitalier (C.H.)	1
Centre Hospitalier Régional (C.H.R.)	5
Centre Médico-Psycho-Pédagogique (C.M.P.P.)	2
Centre Provisoire Hébergement (C.P.H.)	1
Etablissement d'Accueil Mère-Enfant	1
Etablissement d'Accueil Temporaire pour Personnes Agées	1
Etablissement de Soins Pluridisciplinaire	2
Foyer Hébergement Adultes Handicapés	6
Institut d'Education Sensorielle Sourd/Aveugle	1
Institut Médico-Educatif (I.M.E.)	3
Institut Thérapeutique Éducatif et Pédagogique (I.T.E.P.)	1
Intermédiaire de Placement Social	1
Logement Foyer	10
Maison de Retraite (EHPAD)	13
Maison d'Enfants à Caractère Social	8
Prison	1
Service d'Éducation Spéciale et de Soins à Domicile	4

La carte suivante représente la répartition des enjeux prioritaires sur le territoire d'étude. Comme le montre la carte, la majorité des enjeux est concentrée sur le territoire de la ville de Tours et particulièrement dans le Val de Tours, entre Loire et Cher. Il y a quelques enjeux dispersés sur les communes de Fondettes, La Riche, Saint-Cyr-sur-Loire et Joué-lès-Tours. Sur certaines communes comme Luynes, Saint-Avertin et Saint-Pierre-des-Corps, il y a des enjeux isolés. Cette carte nous permet de voir qu'il n'y a qu'un seul enjeu est situé en zone d'aléa très fort et un enjeu en aléa fort. Le reste des enjeux, soit 68 établissements, sont localisés en d'aléa faible ou dans une zone sans aléa.

Sources: BD Topo IGN 2008,
BD FINESS 2008, PPRI Loire et
Cher



Carte 14 : Localisation des enjeux

b) Les critères et leurs performances et sens de préférences

Pour permettre de définir l'ordre dans lequel les enjeux prioritaires doivent être évacués, la méthode ELECTRE III s'appuie sur différents critères. Une fois élaborés ces critères doivent se voir attribuer une performance, un sens de préférence et une pondération. La partie suivante décrit ces paramètres et valeurs.

La vulnérabilité humaine caractérise la fragilité de la population, elle est dans cet exercice associée à la capacité des personnes à réagir seule face à une situation d'inondation et de s'évacuer par ses propres moyens. Elle peut être de différents types, Elle peut par exemple être liée à l'âge, des personnes âgées ou des enfants n'ont pas une perception réelle du risque qu'ils peuvent encourir. Elle doit aussi prendre en compte les capacités physiques des individus, un handicapé moteur aura bien plus de difficulté à s'évacuer qu'une personne possédant toutes ses capacités physiques.

Performance :

- 0 : personne non vulnérable capable de s'évacuer par ses propres moyens
- 1 : personnes capables de se déplacer toutes seules, elles doivent juste être guidées et transférées par les secouristes

- 2 : population mixte composée de personnes valides et de personnes non valides (1 et 3)
- 3 : personnes incapables de se déplacer toutes seules, les secours ou le personnel médical de l'établissement doivent la prendre en charge tout au long de l'évacuation.

Le sens de préférence de ce critère est croissant.

L'attribution des performances se fait en fonction du type d'établissement, le tableau suivant donne la valeur de vulnérabilité humaine par catégorie. Celles-ci sont décrites dans l'annexe 3.

Tableau 6 : Tableau récapitulatif de la vulnérabilité humaine par types d'enjeux

Catégorie	Vulnérabilité humaine
Appartement de Coordination Thérapeutique (A.C.T.)	2
Atelier Thérapeutique	1
Autre Centre d'Accueil	1
Centre Accueil Demandeurs Asile (C.A.D.A.)	1
Centre Action Médico-Sociale Précoce (C.A.M.S.P.)	3
Centre d'Accueil Familial Spécialisé	1
Centre de Jour pour Personnes Agées	3
Centre Hospitalier (C.H.)	2
Centre Hospitalier Régional (C.H.R.)	2
Centre Médico-Psycho-Pédagogique (C.M.P.P.)	1
Centre Provisoire Hébergement (C.P.H.)	1
Etablissement d'Accueil Mère-Enfant	2
Etablissement d'Accueil Temporaire pour Personnes Agées	2
Etablissement de Soins Pluridisciplinaire	3
Foyer Hébergement Adultes Handicapés	2
Institut d'Education Sensorielle Sourd/Aveugle	1
Institut Médico-Educatif (I.M.E.)	3
Institut Thérapeutique Éducatif et Pédagogique (I.T.E.P.)	2
Intermédiaire de Placement Social	1
Logement Foyer	1
Maison de Retraite (EHPAD)	3
Maison d'Enfants à Caractère Social	1
Prison	2
Service d'Éducation Spéciale et de Soins à Domicile	3

La population résidant dans l'enjeu, le nombre de personnes est important pour définir l'ordre d'intervention des secours, en effet plus y a de monde à évacuer et plus l'évacuation prendra de temps. Cette information permet aussi de définir quels seront les moyens humains et matériels à mettre en place.

Performance : pour ce critère la performance correspond au nombre de lits/places pour les patients, c'est la capacité maximale de l'édifice. Il y a cependant une exception, la prison de Tours à une population bien supérieure à la capacité déclarée. Le personnel n'est pas pris en compte car il est peu vulnérable par rapport à leurs patients. De plus, les membres du personnel souhaiteront surement rejoindre leurs familles pour leurs propres évacuations. La performance est comprise entre 0 et 788.

Le sens de préférence de ce critère est croissant

La zone d'aléa dans laquelle est situé l'enjeu, cette donnée permet d'avoir une estimation des risques potentiels pour les occupants de l'enjeu, basé sur les plus hautes eaux connues, l'aléa donne une indication sur les zones inondées, la hauteur d'eau et la vitesse du courant.

Performance :

- 0 : pas d'aléa
- 1 : aléa faible
- 2 : aléa moyen
- 3 : aléa fort
- 4 : aléa très fort

Le sens de préférence de ce critère est croissant

L'accessibilité en période normale entre l'enjeu et les centres d'intervention des secours, ce critère traduit la facilité ou la difficulté pour les secours à effectuer le chemin de leur caserne jusqu'à l'enjeu considéré. Cette accessibilité sera calculée sur l'itinéraire le plus court et exprimée en temps.

Performance : ce critère est exprimé en minute, pour ne pas perdre la précision des calculs de Chronomap, ce nombre n'est pas un entier mais un décimal avec deux chiffres après la virgule. La performance pour ce paramètre est comprise entre 3,42 et 41,97 minutes.

Le sens de performance est croissant.

Evolution de l'accessibilité en période de crise entre l'enjeu et les centres d'intervention des secours, durant la crise d'inondation, la montée des eaux peut entraîner des perturbations sur le réseau de transport. Sur certains tronçons de routes, la vitesse admise sur une portion du trajet peut être diminuée par la présence d'eau ou le tronçon peut être carrément impraticable pour un véhicule, obligeant à changer l'itinéraire. Il faut donc recalculer la durée de trajet avec ces nouveaux paramètres et la comparer avec celle en période normale. Du résultat obtenu, on soustrait l'accessibilité en période normale pour obtenir l'évolution de l'accessibilité.

Performance : elle est exprimée en minute, les valeurs sont comprises entre 0 et 60. Quand l'évolution est égale à 0, cela traduit le fait que le temps d'accès ne varie pas entre la période normale et durant la crise d'inondation. Quand les enjeux sont inaccessibles, la performance prend la valeur 60, c'est une valeur arbitraire suffisamment forte par rapport aux valeurs intermédiaires pour représenter une rupture d'accessibilité.

Le sens de performance est croissant.

L'accessibilité en période normale entre l'enjeu et le centre d'hébergement d'urgence. En reprenant le même principe de calcul, on peut définir le temps nécessaire aux secours pour qu'ils transportent les personnes évacuées de l'enjeu jusqu'au centre d'hébergement le plus accessible. Ils existent différents types de centre d'accueil, en fait les personnes

vulnérables n'ont pas les mêmes besoins en termes d'assistance et de soins. Ce critère sera exprimé en temps et calculé sur le chemin minimum.

Performance : elle est exprimée de la même façon que pour l'accessibilité entre l'enjeu et le centre de secours le plus proche. Tous les enjeux sont évacués dans des établissements du département d'Indre-et-Loire, à l'exception de la maison d'arrêt de Tours qui elle est évacuée vers l'établissement pénitencier de la ville du Mans. Pour les enjeux évacués à proximité, les valeurs vont de 1,07 à 36,48 minutes. La valeur pour la prison de 66 minutes, elle correspond au temps de parcours donné par le site www.mappy.fr, pour aller du centre de Tours au centre du Mans.

Le sens de performance est croissant.

Evolution de l'accessibilité en période de crise entre l'enjeu et le centre d'hébergement d'urgence le plus accessible comme pour l'évolution de l'accessibilité entre l'enjeu et les centres des secours en période d'inondation, l'itinéraire sera recalculé en fonction des impacts du niveau d'eau sur le réseau routier.

Performance : le principe du critère évolution de l'accessibilité en période de crise entre l'enjeu et les centres d'intervention des secours est repris.

Le sens de performance est croissant.

Le nombre d'étage du bâtiment. Savoir si l'enjeu possède ou non des étages est une information importante car si il y a un ou plusieurs niveaux au-dessus du sol cela permet aux occupants de mettre hors d'eau du mobilier ou du matériel et pour eux de se mettre à l'abri en attendant d'être évacués par les secours. Le nombre d'étage est en fait une estimation, sur la BD Topo de l'IGN seul la hauteur des bâtiments est renseignée, il n'y a pas le nombre d'étage. Nous avons estimé qu'un étage faisait trois mètres de hauteur et avons donc calculé approximativement le nombre d'étage de chaque bâtiment.

Performance : le fait de prendre en compte les étages en attribuant leur nombre à la performance, diminue de façon trop importante la vulnérabilité de l'enjeu, c'est pourquoi l'utilisation de classe a été préférée.

- 0 : le bâtiment est de plein pied, constitué uniquement d'un rez-de-chaussée. Ce type d'édifice est très vulnérable dans les zones d'aléa moyen, fort et très fort.
- 1 : le bâtiment est de type R+1, il comprend un rez-de-chaussée et un étage. L'établissement est vulnérable dans les zones d'aléa fort et très fort.
- 2 : l'établissement comporte deux étages ou plus. Il est peu vulnérable, le plancher du second étage étant généralement à plus de six mètres au-dessus du sol.

Le sens de performance du critère est décroissant.

c) Les pondérations

Pour affecter les pondérations, nous avons déterminé quels critères sont les plus importants. Il en est ressorti que la vulnérabilité des personnes résidant dans les enjeux prioritaires était l'information la plus importante. En effet, c'est cette information qui conditionne la façon dont les usagers des enjeux seront évacués. Le critère qui arrive en second est la zone d'aléa dans lequel se trouve l'enjeu, cette donnée nous apporte des informations sur la hauteur et la vitesse du courant. Le troisième critère, c'est le nombre

de personnes résidant dans l'enjeu, c'est un facteur clé car il détermine les moyens et les véhicules qu'il est possible d'employer. Viennent ensuite les deux évolutions d'accessibilités, leurs pondérations est plus forte que celle des accessibilités. Dans ce PFE, nous avons voulu mettre en avant les conséquences d'une inondation sur le réseau routier, ce qui explique ce choix. Le dernier critère et celui qui a la pondération la plus petite, il s'agit du nombre d'étage, même si le bâtiment possède des étages hors d'eau cela ne fait que gagner un peu de temps puisque le type de population que nous avons choisi d'étudier doit de toute façon être évacuée.

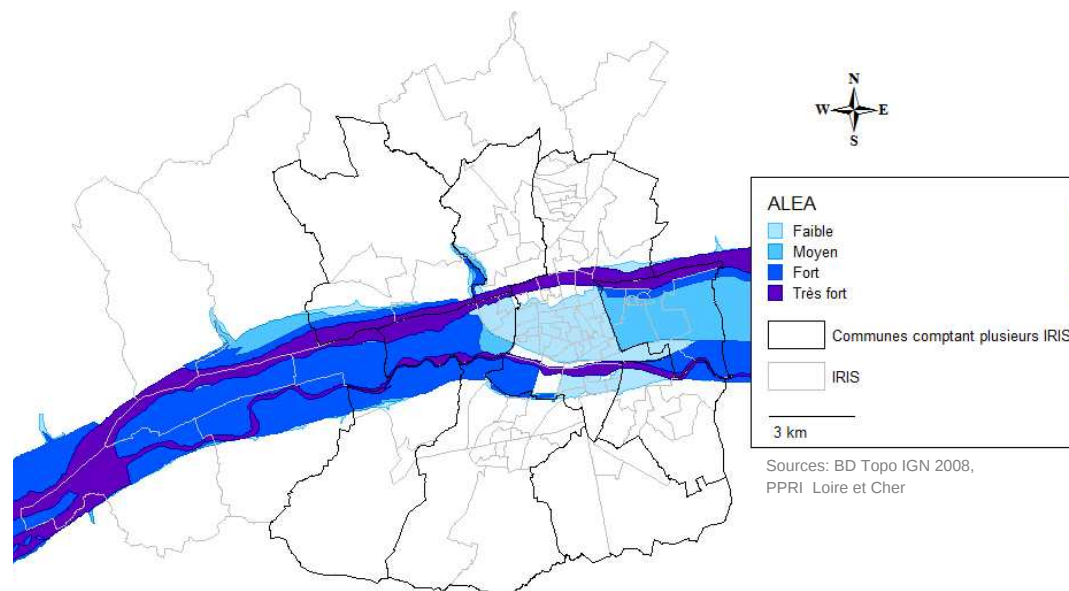
Les pondérations de chaque critère sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 7 : Tableau des pondérations par critères

Critères	Pondérations
La vulnérabilité humaine	6
La zone d'aléa dans laquelle est situé l'enjeu	5
La population résidant dans l'enjeu	4
L'accessibilité en période normale enjeu-centres de secours	2
L'évolution de l'accessibilité en période de crise enjeu-centre de secours	3
L'accessibilité en période normale enjeu-centre d'hébergement	2
L'évolution de l'accessibilité en période normale enjeu-centre d'hébergement	3
Le nombre d'étage du bâtiment	1

Cas des IRIS pour l'évacuation de toute la population

La communauté de commune de Tours compte 116 IRIS sur son territoire. Nous observons sur la carte ci-dessous que beaucoup d'entres-eux ne sont pas touchées par les zones d'aléa du plan de prévention des risques d'inondation. Ou bien que l'IRIS est partiellement en zone inondable tels que les IRIS de Luynes, Ballan-Miré et Saint-Avertin. Cependant certains IRIS sont totalement touchés par l'aléa. Cela concerne les IRIS de Saint-Pierre-des-Corps, La Riche et les IRIS de Tours situés entre la Loire et le Cher. Ainsi que les communes de Saint-Genouph et Berthenay. Cette carte permet de se rendre compte que tous les IRIS ne sont pas tous égaux en termes de vulnérabilité.



Carte 15 : Découpage en IRIS du territoire d'étude

a) Les critères et leurs performances et sens de préférences

Tout comme pour effectuer le classement des enjeux prioritaires, la hiérarchisation de l'évacuation des IRIS demande la construction de critères et le calcul de leur performance respective chaque pour action. Ici les actions sont en fait les IRIS. Pour les communes ne comportant pas ce découpage en IRIS, les valeurs sont considérées pour l'intégralité du territoire de la commune. Les paragraphes qui suivent sont consacrés à la description des critères. Dans le cas des IRIS, tous les sens de préférence sont croissants.

La population vivant dans une zone d'aléa, sur certains IRIS seule une partie du périmètre est en zone inondable, ce qui veut dire que seule cette partie est considérée comme potentiellement touchée par les risques d'inondation. L'évacuation de cet IRIS sera donc limitée aux enjeux se trouvant dans une zone d'aléa. Le calcul de cette valeur se fait par le croisement des zones d'aléa et de la population par bâtiment (BD Topo de l'IGN).

Performance : la valeur est comprise entre 0 et la population maximale de l'IRIS. Plus le nombre est proche de la population totale plus le territoire de l'IRIS potentiellement inondé est grand. Dans notre cas les performances sont entre 0 et 3449.

Le pourcentage de réseau routier inondé, le réseau routier est une composante importante lors de l'évacuation de la population quelle soit réalisée par les services de secours ou par les habitants eux-mêmes de façon autonome. En effet, dans la grande majorité des cas celle-ci se fera grâce à des véhicules motorisés et la submersion des réseaux de transports pourrait entraîner des difficultés et accroître les risques lors du départ des populations.

Performance : les valeurs de cette performance sont comprises entre 0 et 100%, le chiffre 0 représente un réseau totalement hors d'eau en période de crise et donc totalement praticable. Le nombre 100 représente quant à lui un réseau de transport

complètement impraticable. Les valeurs intermédiaires signifient que seule une partie des routes est submergée.

Le pourcentage de personnes vulnérables, ici les personnes vulnérables ne sont pas du même type que celui utilisé pour la hiérarchisation des enjeux prioritaires. Dans le classement des IRIS les personnes vulnérables représentent la population qui n'a pas la possibilité de se mettre à l'abri en hauteur, dans un étage. Dans les zones d'aléa fort et très fort, les résidents des bâtiments de type R ou R+1 sont des personnes vulnérables. Dans les zones d'aléa moyen et faible, les occupants des édifices ne comportant qu'un rez-de-chaussée sont considérés comme vulnérables.

Performance : les valeurs ont été repris de l'Atelier réalisé en 2010 ayant pour titre : *Vers la prise en compte de la vulnérabilité du territoire face au risque d'inondation pour le Schéma de Cohérence Territoriale de l'agglomération tourangelle*. Puis elles ont été mis en pourcentage. Les valeurs varient de 0 à 100.

Présence d'une ICPE ou d'un établissement classé SEVESO, lors d'une inondation beaucoup d'objets sont entraînés dans les flots et des liquides plus ou moins toxiques peuvent se mélanger à l'eau et provoquer des dommages sur la santé humaine ainsi que sur l'environnement. En outre, certaines installations présentent, lors d'une crue, des probabilités d'explosions qui pourraient toucher les populations riveraines et aggraver un peu plus la situation.

Performance :

- 0 : l'IRIS ne comporte pas sur son territoire d'installation classée pour la protection de l'environnement
- 1 : cette valeur correspond à la présence d'une ou deux ICPE
- 2 : cette valeur correspond à la présence de trois ICPE ou plus dans l'IRIS

Accessibilité en période normale entre le centroïde des IRIS et le poste de secours le plus proche en temps. Cette caractérisation de l'accessibilité permet de savoir si l'IRIS est facilement atteignable par les secours dans une situation ordinaire.

Performance : elles sont exprimées en minute et comprise entre 1,20 et 44,05 minute.

Evolution de l'accessibilité en période de crise entre le centroïde des IRIS et le poste de secours le plus proche en temps. Cet autre critère permet de mettre en lumière l'évolution de l'accès depuis un centre de secours, plus cette valeur est grande, plus l'IRIS est dur à atteindre. Cela traduit les difficultés que les secouristes pourraient avoir pour se rendre dans cette partie de l'agglomération tourangelle.

Performance : les valeurs sont comprises entre 0 et 60 minutes, la valeur 60 est une valeur choisie arbitrairement pour signifier une incapacité à joindre le centroïde de l'IRIS et un centre de secours.

Accessibilité en période normale entre le centroïde des IRIS et le centre d'hébergement d'urgence le plus proche. Ce critère permet de connaître le temps qu'il faut dans des conditions normales pour que la population évacuée arrive au centre d'hébergement d'urgence ou ces personnes pourront attendre la fin de la crise.

Performance : les valeurs sont comprises entre 1,03 et 48,33 minutes

Evolution de l'accessibilité en période d'inondation entre le centroïde des IRIS et le centre d'hébergement d'urgence le plus proche. Cette évolution traduit l'augmentation, si la valeur est supérieure à 0, des difficultés d'accès au centre d'hébergement lors de la crue.

Performance : les valeurs sont comprises entre 0 et 60 minute.

Densité : même si le fait qu'un édifice ait des étages permettent à ces occupants de se mettre à l'abri hors d'eau pendant une inondation. Cela représente une difficulté en période de pré-crise, en effet plus il y a d'étages et plus le nombre de personnes à évacuer par bâtiment est important. Le fait que la densité soit forte augmente le temps d'évacuation et la possibilité d'embouteillage.

Performance : les valeurs ont été reprises de l'Atelier réalisé en 2010 ayant pour titre : *Vers la prise en compte de la vulnérabilité du territoire face au risque d'inondation pour le Schéma de Cohérence Territoriale de l'agglomération tourangelle*, elles correspondent à la densité de population au mètre carré. Les valeurs sont dans un intervalle de 0,0034 à 0,0244.

b) Les pondérations

Pour établir les pondérations des critères de classement des IRIS, nous avons déterminé l'ordre d'importance des différents paramètres définis plus haut. Il apparaît que le nombre de population vivant dans un aléa est un critère primordial, il donne une estimation de la population à évacuer et permet de définir les moyens humains et matériels à mettre en œuvre. Le second critère défini la praticabilité du réseau de transport au sein même de l'IRIS, il traduit la facilité ou la difficulté à circuler. Le critère suivant indique le nombre de personnes dont le logement risque d'être immergé et dont la mise en sûreté ne peut pas se faire dans les étages supérieurs des bâtiments. Viennent ensuite les deux évolutions d'accessibilité dont l'importance est légèrement supérieure à celle de l'accessibilité en elle-même. En effet, nous souhaitons mettre en lumière les changements d'itinéraire et de temps de parcours. Le dernier critère quant à lui est un indicateur des difficultés qui pourrait être rencontrées en termes d'embouteillage sur le réseau dû à la densité de population, ce critère nous a paru moins important que les autres, c'est pourquoi sa pondération est la plus faible.

Tableau 8 : Tableau des pondérations par critères

Critères	Pondérations
Population vivant dans une zone d'aléa	6
Pourcentage de réseau routier inondé	5
Pourcentage de personnes vulnérables	3
Présence d'une ICPE	2
Accessibilité en période normale centroïde-secours	2
Evolution de l'accessibilité centroïde-secours	3
Accessibilité en période normale centroïde-centre d'accueil	2
Evolution de l'accessibilité centroïde-centre d'accueil	3
Densité	2

La sélection des actions, que ce soit les enjeux ou les IRIS, est suffisamment étendu pour permettre d'établir un classement montrant la construction des classements et l'importance des pondérations sur les critères. Ainsi nous avons pu constater que la pondération pour le critère aléa sur les enjeux n'était pas assez forte ou bien qu'il faudrait considérer la hauteur de submersion des enjeux au lieu de l'aléa. De même, pour le critère étage, les performances ou la pondération sont trop faibles pour qu'il ait un effet significatif sur la hiérarchisation. En outre, le nombre d'étage nécessite d'être vérifié sur le terrain, puisque nous ne disposons que de la hauteur des bâtiments et d'une estimation de la valeur et que cette information n'a finalement que peu d'importance car tout le monde doit être évacué. Cela signifie que ce critère pourrait être supprimé des critères utilisés dans le classement. Dans le cas de la hiérarchisation des IRIS, le critère de densité n'a lui aussi que peu d'impact, ce qui est sûrement dû au fait que l'unité choisie donne des valeurs très faible, pour remédier à ce problème il faut donc changer l'unité du critère.

En ce qui concerne l'apport de l'accessibilité dans l'aide à la décision multicritère, nous voyons très nettement que les deux classements subissent beaucoup de changement. Cela montre que l'accessibilité a effectivement un rôle à jouer dans la hiérarchisation des enjeux et des IRIS pour organiser l'évacuation de population en période de pré-crise. Par contre pour structurer les opérations d'évacuations pendant la crise d'autres paramètres sont à prendre en compte.

Les résultats devront être montrés à un acteur de la gestion de crise. Cela permettrait de vérifier si les critères et leurs pondérations sont justes et de mettre en place un protocole pour étendre l'utilisation de l'accessibilité au secteur de la gestion de crise.

23. Les résultats de l'utilisation d'ELECTRE III

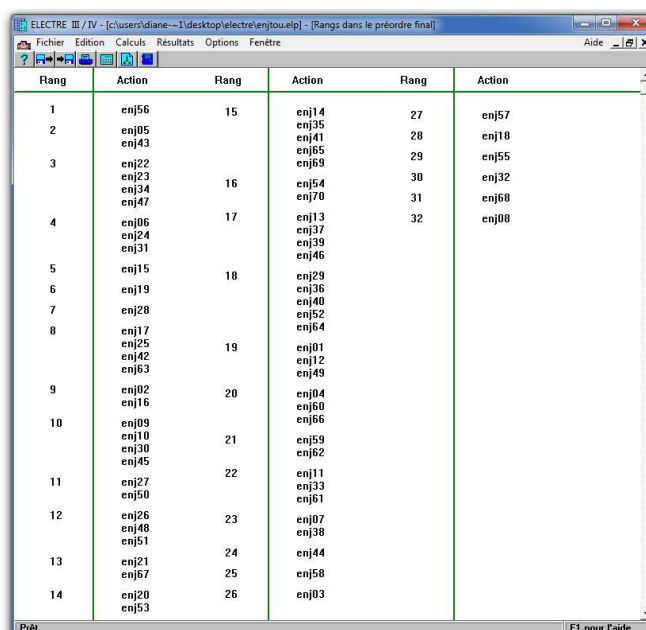
Le nombre de caractères pour nommer les actions étant limité à cinq. Pour les enjeux le nom est composé des trois lettres « enj » suivi d'un nombre à deux chiffres de 01 à 70. Les enjeux sont classés par ordre alphabétique, la correspondance entre le code de l'action et le nom complet de l'enjeu ainsi que la commune dans laquelle il est situé. Cette table « tableau de correspondance Code action-action » se trouve à l'annexe 3. Pour les IRIS, le nom utilisé à une construction différente. Les trois premiers caractères servent à identifier la ville et les deux chiffres numérotent l'IRIS. Les chiffres 00 cela signifient que ces IRIS reprend le périmètre de la commune entière. Cette seconde table de correspondance « tableau de correspondance Code IRIS-IRIS » se trouve aussi à l'annexe 3 et fonctionne de la même façon que la table des enjeux.

Cas des enjeux

a) Le classement des enjeux prioritaires sans notion d'accessibilité.

La hiérarchisation des enjeux se présente sous la forme du tableau suivant. Les enjeux sont classés par rang, certains des rangs renvoient à plusieurs actions, ce sont des ex aequo. La capture d'écran suivante représente le résultat obtenu après exécution de l'algorithme de classement.

Les enjeux classés dans les rangs de 1 à 9 sont caractérisés par une forte vulnérabilité humaine forte et une population élevée ou alors par une vulnérabilité moyenne (performance égale à 2), un aléa dont la valeur est différente de 0 et une population moyenne. Les actions des rangs 10 à 18 ont des valeurs de vulnérabilité humaine, population et aléa plus faibles que dans la première catégorie. Les enjeux restants sont regroupés dans les rangs de 19 à 32. Leur valeur de vulnérabilité humaine est faible, en général égale 1, les enjeux ne sont pas dans une zone d'aléa et leur population est inférieure à 60.



Rang	Action	Rang	Action	Rang	Action
1	enj56	15	enj14	27	enj57
2	enj05 enj43		enj35 enj41 enj65	28	enj18
3	enj22 enj23 enj34 enj47	16	enj54 enj70	29	enj55
4	enj06 enj24 enj31	17	enj13 enj37 enj39 enj46	30	enj32
5	enj15	18	enj29 enj36 enj40 enj52 enj64	31	enj68
6	enj19			32	enj08
7	enj28				
8	enj17 enj25 enj42 enj63	19	enj01 enj12 enj49		
9	enj02 enj16	20	enj04 enj60 enj66		
10	enj09 enj10 enj30 enj45	21	enj59 enj62		
11	enj27 enj50	22	enj11 enj33 enj61		
12	enj26 enj48 enj51	23	enj07 enj38		
13	enj21 enj67	24	enj44		
14	enj20 enj53	25	enj58		
		26	enj03		

Figure 18 : Résultat de classement des enjeux sans accessibilité

Dans le tableau de la page suivante pour des facilités de lecture, nous avons récapitulé les neuf premiers rangs de façon à avoir le nom de l'enjeu, sa raison sociale, la commune dans laquelle il est localisé et ses performances sur les différents critères.

Nous constatons sur le tableau que les enjeux classés dans les premiers rangs sont la prison, les hôpitaux Bretonneau et Clocheville et les cliniques privées, beaucoup de maisons de retraite, des foyers d'hébergement, des instituts médico-éducatif et un service d'éducation spéciale et de soins à domicile. Nous remarquons que lorsque la vulnérabilité humaine est inférieure à 3, cette valeur est compensée par une population importante ou sa situation dans un aléa. Le nombre d'étage n'a pas une importance très significative. Il y a beaucoup d'ex aequo dans le classement, en effet pour seulement neuf rangs présentés nous comptons dix-neuf enjeux. Seuls les rangs 1, 5, 6, 7 comportent un unique enjeu et à l'extrême les rangs 3 et 8 regroupent quatre enjeux. Nous avons pu constater que plus il y a d'enjeux à classer plus il y a d'ex aequo dans le résultat final.

Tableau 9 : récapitulatif des enjeux avec critères des neuf premiers rangs sans accessibilité

Rang	Code enjeu	Raison sociale	Lib catégorie	vulnérabilité humaine	Etage	aléa	Population	Commune
1	enj56	Maison d'arrêt de Tours	Maison d'arrêt	3	2	1	240	Tours
2	enj05	C.H.R.U. "Bretonneau" - Tours	Centre Hospitalier Régional (C.H.R.)	2	2	1	788	Tours
	enj43	I. M. E. "Tours" Adapei	Institut Médico-Educatif (I.M.E.)	3	2	1	110	Tours
3	enj22	EHPAD "Le Clos Mignot"	Maison de Retraite	3	2	0	240	Luynes
	enj23	EHPAD "Le Doyenné du Plessis"	Maison de Retraite	3	1	1	89	La riche
	enj34	F. H. "Résidence le val"	Foyer Hébergement Adultes Handicapés	2	2	4	22	Tours
	enj47	L. F. "La Diablerie"	Logement Foyer	1	2	3	68	St Pierre des Corps
4	enj06	C.H.R.U. "Clocheville" - Tours	Centre Hospitalier Régional (C.H.R.)	2	2	1	215	Tours
	enj24	EHPAD "Les Amarantes"	Maison de Retraite	3	2	1	84	Tours
	enj31	EHPAD "Varennes de Loire"	Maison de Retraite	3	2	1	84	Tours
5	enj15	Clinique "Saint-Gatien" - Tours	Etablissement de Soins Pluridisciplinaire	3	2	0	167	Tours
6	enj19	EHPAD "Ermitage" du CHRU de Tours	Maison de Retraite	3	2	0	130	Tours
7	enj28	EHPAD "Résidence Grands Chênes"	Maison de Retraite	3	2	0	115	Joue les Tours
8	enj17	CTRE CONVAL. "l'Ermitage" CHRU Tours	Centre Hospitalier Régional (C.H.R.)	2	1	0	192	Tours
	enj25	EHPAD "Les Prébendes"	Maison de Retraite	3	2	1	40	Tours
	enj42	I. M. E. "Robert DEBRE"	Institut Médico-Educatif (I.M.E.)	3	2	0	110	Luynes
	enj63	S. E. S. S. A. D. Mirabeau	Service d'Édu Spéciale et de Soins à Domicile	2	2	1	60	Tours
9	enj02	Accueil jour PA dépendantes	Centre de Jour pour Personnes Agées	3	2	1	24	Tours
	enj16	Clinique "Velpeau"	Etablissement de Soins Pluridisciplinaire	3	2	0	105	Tours

b) Le classement des enjeux prioritaires avec notion d'accessibilité.

Pour se rendre compte de l'impact des inondations sur le réseau routier, nous avons cette fois ci intégré aux critères de classement des paramètres sur les temps de trajet en période normale et l'évolution de ses temps durant une crue calculés dans le chapitre précédent. La capture d'écran suivante représente cette nouvelle hiérarchisation des enjeux obtenue par le logiciel.

Rang	Action	Rang	Action
1	enj56	14	enj01
2	enj23		enj10
3	enj43		enj21
4	enj05		enj35
	enj31		enj42
5	enj15	15	enj04
	enj24		enj54
	enj25	16	enj59
	enj34		enj61
	enj47		enj69
6	enj02	17	enj20
	enj06		enj36
7	enj22		enj39
	enj30	18	enj13
8	enj26		enj37
	enj45		enj58
9	enj50		enj60
	enj63		enj66
10	enj14	19	enj03
	enj16		enj29
	enj28		enj33
	enj41	20	enj11
	enj62		enj32
11	enj17	21	enj49
	enj19		enj55
	enj46	22	enj07
	enj48		enj44
12	enj12		enj68
	enj27	23	enj38
	enj40	24	enj57
	enj51	25	enj18
	enj67	26	enj08
13	enj09		
	enj52		
	enj53		
	enj65		

Figure 19 : résultat de classement des enjeux avec accessibilité

Pour les rangs de 1 à 8, les performances sur les critères sont les suivantes : une forte vulnérabilité humaine, une population importante et une rupture d'accessibilité pendant les inondations, cela signifie que les enjeux ne sont pas atteignables par le réseau de transport. Les rangs 9 à 16 regroupent deux types de caractéristiques d'enjeux, dans le premier type nous trouvons une vulnérabilité humaine moyenne, des accessibilités importantes avec une impossibilité de rejoindre ou de quitter l'enjeu et une population moyenne. Dans le second type, nous avons des vulnérabilités et des populations fortes, mais pas d'évolution significative de l'accessibilité entre les deux périodes. Les enjeux en bas de classement, des rangs 17 à 25, voient pour la plupart la conservation de leurs temps de trajet entre les périodes normales et les périodes inondées. Cependant, il y a quelques exceptions, les fortes valeurs d'accessibilités sont compensées par la faible valeur de leur population.

Pour mieux lire les résultats et faciliter la compréhension, un tableau détaillé est fourni à la page suivante. Dans ce tableau sont conciliés le rang du classement de l'enjeu, son nom, le libellé de sa catégorie, les performances pour les critères ainsi que la commune

dans laquelle est situé. Comme pour le tableau récapitulatif du classement sans accessibilité seuls les neufs premiers rangs sont présentés.

Nous retrouvons dans ce nouveau classement la maison d'arrêt de Tours à la première place, il y a toujours beaucoup de maisons de retraite, de foyers, de centres de soins publics ou privés, ainsi qu'un institut médico-éducatif, un institut thérapeutique éducatif et pédagogique et un service d'éducation spéciale et de soins à domicile. Nous pouvons voir sur le récapitulatif que la plupart des enjeux a une vulnérabilité humaine de 3 et qu'il se situe dans une zone d'aléa. De plus, les enjeux sont quasiment tous atteignables en période d'inondation, à l'exception de la maison de retraite de Luynes qui voit quand même une augmentation de près de 17 minutes du temps de parcours pour que les secours rejoignent cet enjeu en période de crue. Excepté le rang 5 qui regroupe cinq enjeux qui arrivent ex aequo, les autres enjeux ne comptent au maximum que deux enjeux. Dans ce second classement pour neuf rang, il y a dix-huit actions.

Tableau 10 : Récapitulatif des enjeux avec critères des neuf premiers rangs avec accessibilité

Rang	Code enjeu	Raison sociale	Lib catégorie	vulnérabilité humaine	Etage	aléa	Population	Commune
1	enj56	Maison d'arrêt de Tours	Maison d'arrêt	3	2	1	240	Tours
2	enj05	C.H.R.U. "Bretonneau" - Tours	Centre Hospitalier Régional (C.H.R.)	2	2	1	788	Tours
	enj43	I. M. E. "Tours" Adape i	Institut Médico-Educatif (I.M.E.)	3	2	1	110	Tours
3	enj22	EHPAD "Le Clos Mignot"	Maison de Retraite	3	2	0	240	Luynes
	enj23	EHPAD "Le Doyenné du Plessis"	Maison de Retraite	3	1	1	89	La riche
	enj34	F. H. "Résidence le val"	Foyer Hébergement Adultes Handicapés	2	2	4	22	Tours
	enj47	L. F. "La Diablerie"	Logement Foyer	1	2	3	68	St Pierre des Corps
4	enj06	C.H.R.U. "Clocheville" - Tours	Centre Hospitalier Régional (C.H.R.)	2	2	1	215	Tours
	enj24	EHPAD "Les Amarantes"	Maison de Retraite	3	2	1	84	Tours
	enj31	EHPAD "Varennnes de Loire"	Maison de Retraite	3	2	1	84	Tours
5	enj15	Clinique "Saint-Gatien" - Tours	Etablissement de Soins Pluridisciplinaire	3	2	0	167	Tours
6	enj19	EHPAD "Ermitage" du CHRU de Tours	Maison de Retraite	3	2	0	130	Tours
7	enj28	EHPAD "Résidence Grands Chênes"	Maison de Retraite	3	2	0	115	Joue les Tours
8	enj17	CTRE CONVAL. "l'Ermitage" CHRU Tours	Centre Hospitalier Régional (C.H.R.)	2	1	0	192	Tours
	enj25	EHPAD "Les Prébendes"	Maison de Retraite	3	2	1	40	Tours
	enj42	I. M. E. "Robert DEBRE"	Institut Médico-Educatif (I.M.E.)	3	2	0	110	Luynes
	enj63	S. E. S. S. A. D. Mirabeau	Service d'Édu Spéciale et de Soins à Domicile	2	2	1	60	Tours
9	enj02	Accueil jour PA dépendantes	Centre de Jour pour Personnes Agées	3	2	1	24	Tours
	enj16	Clinique "Velpeau"	Etablissement de Soins Pluridisciplinaire	3	2	0	105	Tours

c) Comparaison des résultats

Une fois les deux classements obtenus, nous pouvons établir une comparaison. Le tableau ci-dessous permet de voir l'évolution du rang des enjeux entre le classement sans notion d'accessibilité et le second classement avec accessibilité. Dans la dernière colonne, les flèches indiquent le sens de l'évolution et le chiffre le nouveau rang.

Tableau 11 : Evolution du rang des enjeux entre le classement sans accessibilité et avec accessibilité

Rang	Code enjeu	Raison sociale	Evolution et rang avec accessibilité
1	enj56	Maison d'arrêt de Tours	 1
2	enj05	C.H.R.U. "Bretonneau" - Tours	 4
	enj43	I. M. E. "Tours" Adapei	 3
3	enj22	EHPAD "le Clos Mignot"	 7
	enj23	EHPAD "Le Doyenné du Plessis"	 2
	enj34	F. H. "Résidence le val"	 5
	enj47	L. F. "La Diablerie"	 5
4	enj06	C.H.R.U. "Clocheville" - Tours	 6
	enj24	EHPAD "Les Amarantes"	 5
	enj31	EHPAD "Varennnes de Loire"	 4
5	enj15	Clinique "Saint-Gatien" - Tours	 5
6	enj19	EHPAD "Ermitage" du CHRU de Tours	 11
7	enj28	EHPAD "Résidence Grands Chênes"	 10
8	enj17	CTRE CONVAL. "L'ermitage" CHRU Tours	 11
	enj25	EHPAD "Les Prébendes"	 5
	enj42	I. M. E. "Robert DEBRE"	 14
	enj63	S. E. S. S. A. D. Mirabeau	 9
9	enj02	Accueil jour PA dépendantes	 6
	enj16	Clinique "Velpreau"	 10

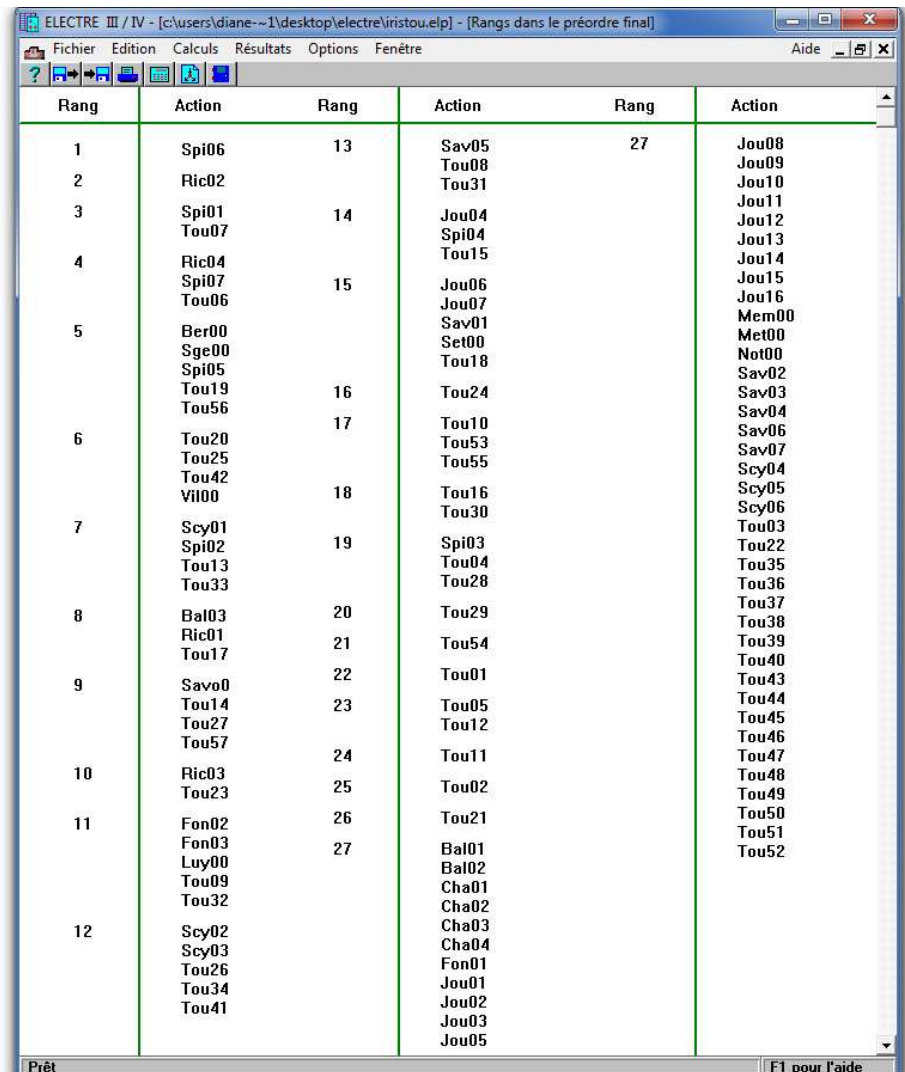
Nous remarquons sur ce tableau que seuls trois enjeux ont gardé leurs rangs initiaux. Il s'agit de la maison d'arrêt de Tours, de la maison de retraite de Tours « Varennnes de Loire » et de la clinique Saint-Gatien à Tours. Les enjeux qui progressent dans le classement sont aussi peu nombreux, cela concerne deux enjeux sur dix-neuf, la maison de retraite « Les Prébendes » à Tours et l'accueil de jour pour personnes âgées dépendantes située elle aussi à Tours. Le reste des enjeux chute dans le classement. L'hôpital Bretonneau perd ainsi deux rangs, la maison de retraite « Le Clos Mignot » passe du troisième rang au septième, la plus grosse différence touche l'IME « Robert DEBRE » qui perd six rang pour atteindre le quatorzième. Certains enjeux sortent du tableau récapitulatif des neuf premiers rangs et dans le même temps de nouveaux enjeux y font leur entrée. Ce sont des enjeux qui gagnent entre deux et quatre rangs, ils sont au nombre de quatre : les EHPAD « Vallée du Cher » et « Ma Maison », l'Institut de Rééducation « L'éveil » et le logement foyer « Marcel du LORIER ».

Le fait d'intégrer la notion d'accessibilité et l'évolution de cette accessibilité en période d'inondation a entraîné beaucoup de modification dans le classement des enjeux et montré quels enjeux étaient les plus sensibles à la montée des eaux et à la submersion du réseau de transport.

Cas des IRIS

a) Le classement des IRIS sans notion d'accessibilité.

De même que pour les enjeux nous avons réalisé un classement sans accessibilité. La capture d'écran suivante présente le résultat issu du logiciel ELECTRE III. Les critères pour le classement sont la population vivant dans un aléa, le pourcentage du réseau inondé, le pourcentage de population vulnérable, la présence d'ICPE et la densité de population au mètre carré.



Rang	Action	Rang	Action	Rang	Action
1	Spi06	13	Sav05	27	Jou08
2	Ric02		Tou08		Jou09
3	Spi01	14	Tou31		Jou10
	Tou07		Jou04		Jou11
4	Ric04		Spi04		Jou12
	Spi07	15	Tou15		Jou13
	Tou06		Jou06		Jou14
5	Ber00		Jou07		Jou15
	Sge00		Sav01		Jou16
	Spi05		Set00		Mem00
	Tou19	16	Tou18		Met00
	Tou56		Tou24		Not00
6	Tou20	17	Tou10		Sav02
	Tou25		Tou53		Sav03
	Tou42		Tou55		Sav04
	Vil00	18	Tou16		Sav06
7	Scy01		Tou30		Sav07
	Spi02	19	Spi03		Scy04
	Tou13		Tou04		Scy05
	Tou33		Tou28		Scy06
8	Bal03	20	Tou29		Tou03
	Ric01	21	Tou54		Tou22
	Tou17		Tou01		Tou35
9	Savo0	22	Tou05		Tou36
	Tou14	23	Tou12		Tou37
	Tou27		Tou11		Tou38
	Tou57	24	Tou02		Tou39
10	Ric03	25	Tou21		Tou40
	Tou23		Bal01		Tou43
11	Fon02	26	Bal02		Tou44
	Fon03	27	Cha01		Tou45
	Luy00		Cha02		Tou46
	Tou09		Cha03		Tou47
	Tou32		Cha04		Tou48
12	Scy02		Fon01		Tou49
	Scy03		Jou01		Tou50
	Tou26		Jou02		Tou51
	Tou34		Jou03		Tou52
	Tou41		Jou05		

Figure 20 : résultat de classement des IRIS sans accessibilité

Le classement est composé de vingt-sept rangs regroupant les cent seize IRIS de notre terrain d'étude. A lui seul le dernier rang compte quarante-neuf IRIS, ils ont comme point commun d'avoir une population vivant dans une zone d'aléa égale à 0. Plus nous remontons dans le classement plus la population vivant en zone d'aléa, le pourcentage de population vulnérable et de routes inondées sont importants. La prise en compte de la densité n'a pas de répercussions importantes sur le classement final des IRIS sans accessibilité.

Dans le tableau à la page suivante pour des facilités de lecture, nous avons récapitulé les sept premiers rangs de façon à avoir le nom de l'IRIS, son code dans le classement et les valeurs de performance pour les critères utilisés dans la construction de la hiérarchisation.

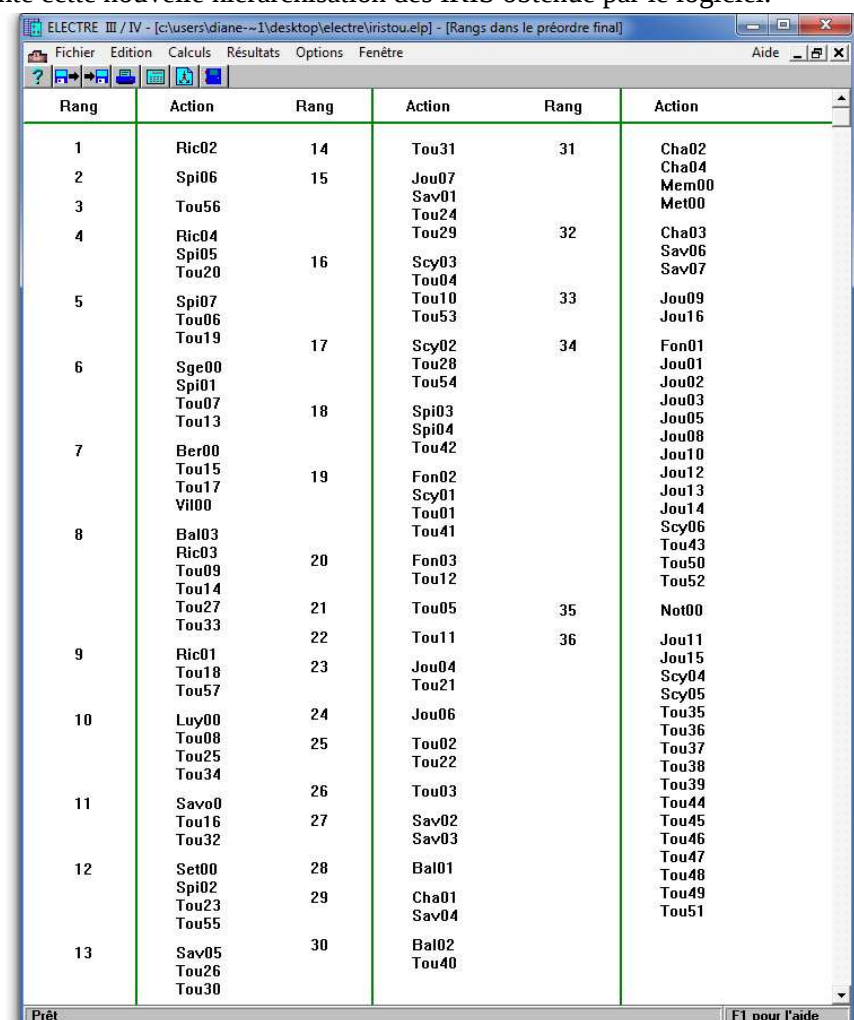
Les sept rangs présentés regroupent les vingt premiers IRIS du classement, nous remarquons que dans beaucoup de rang il y a des ex-æquo et que seulement deux rangs correspondent à une seule action. Dans cette tête de classement, beaucoup d'IRIS dont la commune est entièrement inondée sont représentés. Cela concerne les communes de Saint-Pierre-des-Corps, Berthenay, La Riche et Saint-Genouph. Nous retrouvons les IRIS de la ville de Tours qui sont totalement submergés, le pourcentage de routes inondées donne une idée sur montée des eaux dans l'IRIS, 100% correspond à un IRIS totalement inondé. Nous avons observé que dans ces premiers rangs la population vulnérable est souvent le facteur déterminant de la position dans le classement suivi du pourcentage de personne vulnérable. Cependant ce n'est pas toujours le cas, pour les IRIS : Ber00, Tou42, Vil00 et Scy01 dont les valeurs de population sont moins importantes, voir aberrante pour Scy01, c'est le pourcentage de personnes vulnérables très élevé qui leur donne leur place dans le haut du tableau.

Tableau 12: Récapitulatif des IRIS avec critères des sept premiers rangs sans accessibilité

Rang	Code IRIS	Nom IRIS	Pop vivant dans un aléa	Personne vulnérable	ICPE dans un aléa	Réseau inondé	D (p)
1	Spi06	Saint-Pierre-des-Corps EST	2 956	14%	2	100%	0
2	Ric02	La Riche LOUIS XI	1 936	3%	0	100%	0
3	Spi01	Saint-Pierre-des-Corps OUEST	2 394	11%	0	100%	0
	Tou07	Tours GRAMMONT 2	3 500	0%	0	100%	0
4	Ric04	La Riche LES VARENNES	1 312	23%	2	100%	0
	Spi07	Saint-Pierre-des-Corps CENTRE	2 715	2%	2	100%	0
	Tou06	Tours GRAMMONT 1	3 305	0%	0	100%	0
	Ber00	Berthenay	699	32%	0	100%	0
5	Sge00	Saint-Genouph	1 005	22%	0	100%	0
	Spi05	Saint-Pierre-des-Corps CHEVAL BLANC	1 962	7%	2	100%	0
	Tou19	Tours FEBVOTTE-MARAT 1	2 496	1%	0	100%	0
	Tou56	Tours LES FONTAINES 3	3 248	1%	0	100%	0
	Tou20	Tours FEBVOTTE-MARAT 2	3 168	1%	0	100%	0
6	Tou25	Tours LA FUYE VELPEAU 3	2 149	2%	0	100%	0
	Tou42	Tours PAUL BERT	95	100%	0	26%	0
	Vil00	Villandry	313	31%	0	43%	0
	Scy01	Saint-Cyr-sur-Loire OUEST 1	1	100%	0	2%	0
7	Spi02	Saint-Pierre-des-Corps BORDS DE LOIRE GRAND MAIL	2 280	1%	0	100%	0
	Tou13	Tours RABELAIS-TONNELLE 1	3 118	0%	0	100%	0
	Tou33	Tours BEAUJARDIN 2	2 047	4%	0	100%	0

b) Le classement des IRIS avec notion d'accessibilité.

Pour se rendre compte de l'impact des inondations sur le réseau routier, nous avons cette fois-ci intégré aux critères de classement des paramètres sur les temps de trajet en période normale et l'évolution de ses temps durant une crue. La capture d'écran suivante représente cette nouvelle hiérarchisation des IRIS obtenue par le logiciel.



Rang	Action	Rang	Action	Rang	Action
1	Ric02	14	Tou31	31	Cha02
2	Spi06	15	Jou07		Cha04
3	Tou56		Sav01		Mem00
4	Ric04		Tou24		Met00
	Spi05	16	Tou29	32	Cha03
	Tou20		Scy03		Sav06
5	Spi07		Tou04		Sav07
	Tou06		Tou10	33	Jou09
	Tou19	17	Tou53		Jou16
6	Sge00		Scy02	34	Fon01
	Spi01		Tou28		Jou01
	Tou07	18	Tou54		Jou02
	Tou13		Spi03		Jou03
7	Ber00		Spi04		Jou05
	Tou15	19	Tou42		Jou08
	Tou17		Fon02		Jou10
	Vil00		Scy01		Jou12
8	Bal03		Tou01		Jou13
	Ric03	20	Tou41		Jou14
	Tou09		Fon03		Scy06
	Tou14	21	Tou12		Tou43
	Tou27		Tou05	35	Tou50
	Tou33	22	Tou11	36	Tou52
9	Ric01		Jou04		Jou11
	Tou18	23	Tou21		Jou15
	Tou57		Jou06		Scy04
10	Luy00	24	Tou02		Scy05
	Tou08	25	Tou22		Tou35
	Tou25		Tou03		Tou36
	Tou34	26	Sav02		Tou37
11	Savo0		Sav03		Tou38
	Tou16	27	Bal01		Tou39
	Tou32		Cha01		Tou44
12	Set00	28	Sav04		Tou45
	Spi02	29	Bal02		Tou46
	Tou23		Tou40		Tou47
	Tou55	30			Tou48
13	Sav05				Tou49
	Tou26				Tou51
	Tou30				

Figure 21 : résultat de classement des IRIS sans accessibilité

Les rangs 19 à 36 regroupent les IRIS dont les accessibilités ne sont pas modifiées par la survenue d'une inondation, mais aussi des IRIS dont les temps accès changent et dont la population vivant dans un aléa est nulle. Ces IRIS sont considérés dans le PPRI comme non inondable. Cependant ils peuvent devenir des îlots entourés d'eau dont l'évacuation est impossible par la route et la vie dans ces îlots serait fortement perturbée car l'eau et l'électricité seraient coupées. Dans les rangs supérieurs, nous trouvons les IRIS dont les valeurs des performances augmentent quand le rang s'accroît.

Pour mieux lire les résultats et faciliter la compréhension, un tableau détaillé est fourni à la page suivante. Dans ce tableau sont conciliés le rang du classement de l'IRIS, son nom et les performances pour les critères. Comme pour le tableau récapitulatif du classement sans accessibilité seuls les sept premiers rangs sont présentés.

Le tableau comporte dix-huit IRIS répartis en sept rang, nous pouvons remarque que seule la commune de Berthenay conserve un de ces temps d'accès, il s'agit du trajet entre les centre de secours et le centroïde de l'IRIS. Pour tous les autres IRIS, les secours ne peuvent pas atteindre le centre de l'IRIS et l'évacuation du centroïde vers un centre d'accueil n'est pas possible, par la route en tout cas. En ce qui concerne le réseau routier, il est totalement impraticable sauf pour la commune de Villandry ou plus de 40% du réseau est inondé. Dans chaque IRIS la population exposée aux inondations est conséquente et en général une partie d'entre elle est considérée comme vulnérable. Les IRIS des communes entre la Loire et le Cher sont toujours bien représentées dans le classement, nous trouvons notamment les communes de La Riche, Saint-Genouph, Berthenay et Saint-Pierre-des-Corps. Les IRIS de Tours dans le Val font aussi partis de la tête de liste.

Tableau 13 : Récapitulatif des IRIS avec critères des sept premiers rangs avec accessibilité

Rang	Cod e IRIS	Nom IRIS	Pop dans un aléa	Pers onne vuln érable	ICP E dans un aléa	Rése au inon dé	Accessi bilité centroï de secours HI	Evolut ion secour s	Accessib ilité centroïd e centre d'accuei l HI	évoluti on centre d'accu eil
1	Ric 02	La Riche RONSARD PAGNOL	3 236	4%	0	100 %	21,33	60,00	13,47	60,00
2	Spi 06	Saint-Pierre-des-Corps EST	2 956	14%	2	100 %	9,23	60,00	23,60	60,00
3	Tou 56	Tours LES FONTAINES 3	3 248	1%	0	100 %	16,10	60,00	21,47	60,00
4	Ric 04	La Riche LES VARENNES	1 312	23%	2	100 %	24,15	60,00	20,72	60,00
	Spi 05	Saint-Pierre-des-Corps CHEVAL BLANC	1 962	7%	2	100 %	4,05	60,00	18,55	60,00
	Tou 20	Tours FEBVOTTE-MARAT 2	3 168	1%	0	100 %	14,28	60,00	17,17	60,00
5	Spi 07	Saint-Pierre-des-Corps CENTRE	2 715	2%	2	100 %	1,20	60,00	15,73	60,00
	Tou 06	Tours GRAMMONT 1	3 305	0%	0	100 %	12,13	60,00	10,47	60,00
	Tou 19	Tours FEBVOTTE-MARAT 1	2 496	1%	0	100 %	14,22	60,00	15,17	60,00
6	Sge 00	Saint-Genouph	1 005	22%	0	100 %	22,60	60,00	35,18	60,00
	Spi 01	Saint-Pierre-des-Corps OUEST	2 394	11%	0	100 %	4,30	60,00	11,68	60,00
	Tou 07	Tours GRAMMONT 2	3 500	0%	0	100 %	11,23	60,00	9,30	60,00
	Tou 13	Tours RABELAIS-TONNELLE 1	3 118	0%	0	100 %	16,15	60,00	10,80	60,00
7	Ber 00	Berthenay	699	32%	0	100 %	12,47	0,00	48,33	60,00
	Tou 15	Tours GIRAUDEAU 1	2 314	0%	0	100 %	16,27	60,00	13,47	60,00
	Tou 17	Tours LAKANAL-STRASBOURG 1	2 974	0%	0	100 %	14,75	60,00	12,67	60,00
	Vil 00	Villandry	313	31%	0	43%	21,67	60,00	47,22	60,00

c) Comparaison des résultats

Une fois les deux classements obtenus, nous pouvons établir une comparaison. Le tableau ci-dessous permet de voir l'évolution du rang des IRIS entre le classement sans notion d'accessibilité et le second classement avec accessibilité. Dans la dernière colonne, les flèches indiquent le sens de l'évolution et le chiffre donne le nouveau rang.

Tableau 14 : Evolution du rang des IRIS entre le classement sans accessibilité et avec accessibilité

Rang	Code IRIS	Nom IRIS	Evolution et rang avec accessibilité
1	Spi06	Saint-Pierre-des-Corps EST	 2
2	Ric02	La Riche LOUIS XI	 1
3	Spi01	Saint-Pierre-des-Corps OUEST	 6
	Tou07	Tours GRAMMONT 2	 6
4	Ric04	La Riche LES VARENNES	  4
	Spi07	Saint-Pierre-des-Corps CENTRE	 5
	Tou06	Tours GRAMMONT 1	 5
5	Ber00	Berthenay	 7
	Sge00	Saint-Genouph	 6
	Spi05	Saint-Pierre-des-Corps CHEVAL BLANC	 4
	Tou19	Tours FEBVOTTE-MARAT 1	  5
	Tou56	Tours LES FONTAINES 3	 3
6	Tou20	Tours FEBVOTTE-MARAT 2	 4
	Tou25	Tours LA FUYE VELPEAU 3	 10
	Tou42	Tours PAUL BERT	 18
	Vil00	Villandry	 7
7	Scy01	Saint-Cyr-sur-Loire OUEST 1	 19
	Spi02	Saint-Pierre-des-Corps BORDS DE LOIRE GRAND MAIL	 12
	Tou13	Tours RABELAIS-TONNELLE 1	 6
	Tou33	Tours BEAUJARDIN 2	 8

Il y a de nombreux changements entre les classements avec et sans accessibilité, seules deux IRIS sont restés au même niveau, treize IRIS perdent des places quand les critères d'accessibilités sont ajoutés aux autres critères. Certains IRIS ne perd ainsi que très peu de places, ceux qui ne perdent qu'un rang sont au nombre de cinq. Il y a en a aussi qui chutent beaucoup, ainsi « Csy01 » et « Tou42 » perdent douze niveaux. Quatre actions voient lors rang augmenté. Plusieurs IRIS sont écartés du classement détaillé et deux nouveaux y sont entrés, il s'agit de l'IRIS « Giraudeau 1 » et « Lakanal-Strasbourg 1 » de la commune de Tours.

Conclusion

La sélection des actions, que ce soit les enjeux ou les IRIS, est suffisamment étendu pour permettre d'établir un classement montrant la construction de la hiérarchisation et l'importance des pondérations sur les critères. Ainsi nous avons pu constater que la pondération pour le critère aléa sur les enjeux n'était pas assez forte ou bien qu'il faudrait considérer la hauteur de submersion des enjeux au lieu de l'aléa. De même, pour le critère étage, les performances ou la pondération sont trop faibles pour qu'il ait un effet significatif sur la hiérarchisation. En outre, le nombre d'étage nécessite d'être vérifié sur le terrain, puisque nous ne disposons que de la hauteur des bâtiments et d'une estimation de la valeur et que cette information n'a finalement que peu d'importance car tout le monde doit être évacué. Cela signifie que ce critère pourrait être supprimé des critères utilisés dans le classement. Dans le cas de la hiérarchisation des IRIS, le critère de densité n'a lui aussi que peu d'impact, ce qui est sûrement dû au fait que l'unité choisie donne des valeurs très faibles, pour remédier à ce problème il faut donc changer l'unité du critère.

En ce qui concerne l'apport de l'accessibilité dans l'aide à la décision multicritère, nous voyons très nettement que les deux classements subissent beaucoup de changement. Cela montre que l'accessibilité a effectivement un rôle à jouer dans la hiérarchisation des enjeux et des IRIS pour organiser l'évacuation de population en période de pré-crise. Par contre pour structurer les opérations d'évacuations pendant la crise d'autres paramètres sont à prendre en compte.

Les résultats devront être montrés à un acteur de la gestion de crise. Cela permettrait de vérifier si les critères et leurs pondérations sont justes et de mettre en place un protocole pour étendre l'utilisation de l'accessibilité au secteur de la gestion de crise.

3. Synthèse (DORCEUS Rébecca-Valéry)

L'analyse de la vulnérabilité du réseau routier exige d'envisager l'ensemble des configurations possibles d'inondation et pour chacune d'elles l'organisation des relations comparativement à la configuration normale.

Dans un premier lieu les différents scénarios d'aléa ont été considérés pour permettre de voir l'évolution de l'accessibilité spatio-temporelle des enjeux de l'agglomération tourangelle mais aussi des communes de ce territoire. De cette évaluation, il apparaît que le réseau routier est très perturbé en période d'inondation du fait de la présence de l'eau. Au-delà de cette perturbation fonctionnelle, il a surtout été constaté que le dysfonctionnement du réseau induit une perte d'accessibilité et par conséquent augmente la vulnérabilité des enjeux.

Sur la base de ce constat, on propose de compléter l'exploration du système de configurations possibles en envisageant l'évaluation de la vulnérabilité globale du territoire. Dans un second lieu, un outil multicritère intégrant des paramètres géographiques (localisation par rapport à l'aléa d'inondation, accessibilité), démographiques (densité de population), humains (type de population) permet d'observer cette vulnérabilité globale des enjeux. Cet outil permet de comprendre comment des endommagements du réseau routier peuvent fragiliser des enjeux plus que d'autres. Il ouvre en cela des perspectives pour la réduction de la sensibilité des enjeux à l'aléa.

La partie 3 est donc consacrée à l'évacuation préventive de la population, un moyen de réduire les dommages humains en cas de crues.

PARTIE 3 : L'ÉVACUATION PREVENTIVE DE LA POPULATION

DORCEUS Rébecca-Valéry

1. Une approche d'optimisation pour une meilleure gestion de la crise

Les approches « multicritère » et « accessibilité » ont permis de déterminer la vulnérabilité globale du territoire d'étude. L'accessibilité²⁹, caractérisant la plus ou moins grande facilité avec laquelle on peut atteindre un lieu, est dépendante de l'état du réseau routier. En situation de crue, l'accessibilité spatio-temporelle des enjeux et des communes est fortement impactée du fait que certaines routes inondées sont inopérantes. L'approche multicritère qui intègre l'accessibilité, a permis de hiérarchiser les différents enjeux, dont la population, selon leur degré de vulnérabilité. La vulnérabilité de la population est accrue avec la perte d'accessibilité par le réseau routier en période d'inondation vu qu'il lui sera difficile d'évacuer si elle ne dispose pas de moyens de transport adéquats. Cette connaissance de la fragilité du réseau routier amène donc à prévoir une évacuation de la population avant l'arrivée de la crue. L'approche d'« optimisation » va se pencher sur ce problème de l'évacuation préventive de la population.

11. Les graphes et la recherche opérationnelle au service de l'évacuation préventive de la population

L'évacuation de la population met en jeu un système complexe d'entités géographiques, démographiques et autres. Les entités géographiques sont les communes d'origine et de destination, mais également les routes qui façonnent le territoire de ces communes et les mettent en réseau. Les entités démographiques sont les populations à évacuer qui n'ont pas toutes le même degré de vulnérabilité face au risque d'inondation. Les autres entités rassemblent les moyens dont dispose la commune pour faire face à la crise. Ce sont les moyens matériels et humains des centres de secours et des particuliers.

Le système à étudier peut être assimilé à un graphe, où les nœuds sont les communes d'origine et de destination et les arcs, les routes qui les relient. Ces nœuds sont décrits par des variables qui leur sont propres tels la population à évacuer, les moyens de transports, la capacité d'hébergement. Le problème ne peut donc pas être réduit à un simple calcul de chemin minimal pour relier les différents arcs puisqu'il faut intégrer tous les autres paramètres.

L'optimisation qui est une branche des mathématiques permettant d'obtenir un résultat optimum compte tenu de ressources et de moyens limités apparaît comme l'outil idéal pour l'organisation de cette évacuation.

Cette approche d'optimisation combinatoire poursuit un double objectif pour permettre d'intégrer le niveau de vulnérabilité³⁰ de la population. D'une part, elle doit permettre d'élaborer des feuilles de routes pour les centres de secours en vue de l'évacuation des enjeux vulnérables qui ne peuvent pas s'évacuer seuls. D'autre part elle doit permettre d'élaborer un plan d'évacuation préventive de la population moins vulnérable.

²⁹ CERTU, Calculs d'accessibilité, 2006

³⁰ L'approche d'optimisation combinatoire divise la population en deux catégories suivant leur niveau de vulnérabilité. Les enjeux vulnérables abritent une population non autonome qui nécessite une assistance spéciale et parfois médicale. Leur évacuation doit donc être bien encadrée par des professionnels (pompiers, médecins, ambulanciers,...) pour limiter les pertes de vie humaines. L'autre partie de la population est autonome donc moins vulnérable que la précédente catégorie et peut s'évacuer d'elle même.

Cette approche intégrera :

- Le multicritère pour l'identification et la hiérarchisation des enjeux les plus vulnérables
- L'accessibilité sous toutes ses formes : chemins minimaux (identification des itinéraires optimaux), isochrones 20, 30, 40 minutes (aire d'intervention des centres de secours, périmètre couvert par une zone d'accueil)
- Le réseau routier comme support de déplacements entre les communes (capacité et état des routes)
- D'autres critères dépendant du type de population à évacuer.

2. Evacuation des enjeux vulnérables³¹

Les enjeux vulnérables sont des lieux localisés en zone inondable et abritant une population fragile. Ce sont les hôpitaux, les maisons d'accueil des personnes à mobilité réduite et les écoles.

Leur évacuation doit être programmée avant l'arrivée de la crue et dirigée par les centres de secours. Pour mener à bien ces opérations d'évacuation, les responsables de la sécurité civile doivent disposer d'une feuille de route pour chaque enjeu.

Dans cette partie consacrée à l'évacuation des enjeux vulnérables, on va tenter d'élaborer une méthodologie pour la mise en place des feuilles de route. Pour illustrer la démarche et mettre à jour ses limites, un cas d'étude sera présenté.

21. Formalisation théorique du problème d'optimisation

Les centres de secours doivent évacuer les enjeux vulnérables avant l'arrivée de la crue. Cette évacuation doit se faire à un moindre coût (temps minimal), les actions doivent donc être coordonnées.

Description des données

Un centre de secours doit diriger plusieurs opérations d'évacuation. Il doit donc répondre à plusieurs requêtes de transports d'un point de départ (enjeu vulnérable) vers un point d'arrivée (lieu d'accueil). Il dispose d'une flotte de véhicules de capacité limitée et doit réaliser chaque opération pendant un temps minimal.

Outils utilisés

Les calculs d'accessibilité sont réalisés avec l'outil ChronoMap³² basé sur l'algorithme des plus courts chemins. Le véhicule utilisé est un véhicule de secours de type VSL et la vitesse pratiquée est de 25 km/h sur les rues principales.

22. Démarche

Idée générale

Nous proposons une méthodologie pour l'élaboration des feuilles de route qui fonctionne en quatre étapes :

- une première étape pendant laquelle les enjeux vulnérables à évacuer seront identifiés
- une deuxième étape où par le biais de calcul d'accessibilité, on cherche à identifier les centres de secours à affecter à chaque enjeu vulnérable

³¹ CHEVRIER (Rémy), CASTEX (Elodie), CANALDA (Philippe), CHATONNAY (Pascal), JOSSELIN (Didier).- " Un algorithme génétique pour le transport à la demande en convergence".-Revue Internationale de Géomatique, n°2, 2008.-pp. 239-265

³² L'outil ChronoMap et les paramètres pris en compte pour les calculs sont présentés dans la partie accessibilité.

- une troisième étape qui permet d'identifier les lieux d'accueil, en faisant intervenir des critères d'accessibilité mais aussi de capacité et de typologie d'accueil
- une quatrième étape où l'on cherche à identifier les chemins minimaux, établir les tournées de véhicules et élaborer la feuille de route.

Description de la démarche³³

a) Etape 1 : Identification des enjeux vulnérables

Le classement multicritère a déterminé l'ensemble des enjeux vulnérables de part leur localisation dans l'aléa, le type de population qui y logent, etc. Ainsi cette base des enjeux vulnérables indique ceux qu'il faut secourir et leur hiérarchisation par ordre de priorité. Dans cette partie, on se contentera de localiser ces enjeux.

Pour mieux organiser les opérations d'évacuation les enjeux vulnérables doivent être scindés en plusieurs catégories (hôpital, maison de retraite, ...). Cette typologie se justifie par le fait que les enjeux ne reçoivent pas la même catégorie de population et par conséquent n'offrent pas les mêmes prestations. Les informations sur les services proposés par un hôpital par exemple sont nécessaires dans l'organisation de l'évacuation pour réduire les risques de perte de vie humaine ou d'aggravation d'une pathologie. En effet, un patient en chirurgie doit être dirigé vers un autre service de chirurgie où l'on pourra continuer à lui prodiguer les soins adéquats.

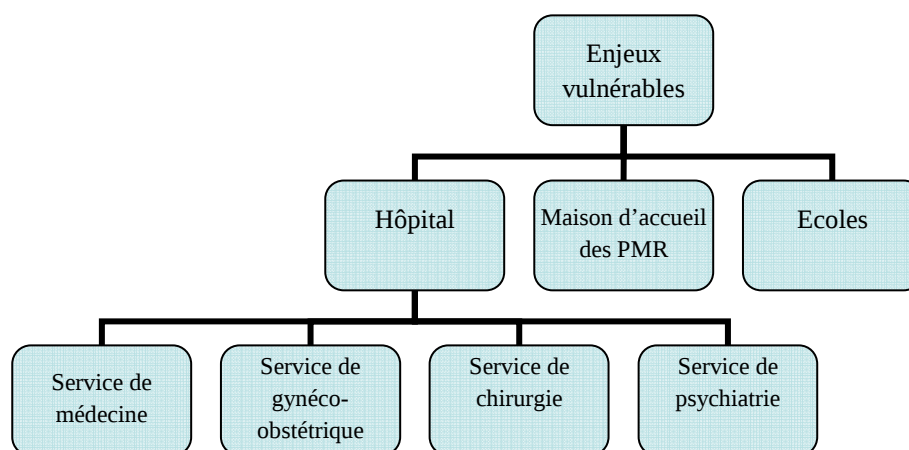


Figure 22 : Typologie des enjeux vulnérables

b) Etape 2 : Identification des centres de secours intervenant dans l'évacuation des enjeux vulnérables

Les centres de secours n'interviennent pas sur tout le territoire, chacun d'entre eux a son périmètre d'intervention. Il convient dans un premier temps de localiser les différents

³³ GARAIX (Thierry), JOSSELIN (Didier), FEUILLET (Dominique), ARTIGUES (Christian), CASTEX (Elodie).- « Transport à la demande points à points en zone peu dense. Proposition de méthode d'optimisation de tournées ».- Cybergéo, sélection d'articles du colloque SAGEO 2005, Avignon, 20-23 juin 2005, France, pp.1-17

centres de secours du territoire et dans un second temps de calculer leur accessibilité spatio-temporelle (isochrone³⁴ 20 minutes).

L'isochrone 20 minutes qui représente le périmètre d'action du centre de secours est le 1^{er} critère considéré dans le choix du ou des centre(s) de secours potentiel(s) à affecter à un enjeu vulnérable. Un centre de secours a donc en charge les enjeux vulnérables localisés dans son périmètre d'intervention.

Pour optimiser le choix du centre de secours un second critère va être pris en compte dans la sélection. Le temps de parcours réel entre chaque enjeu vulnérable va être calculé dans le but d'identifier le centre de secours pouvant intervenir le plus rapidement. Le temps de parcours minimal est donc le 2^{ème} critère qui permet d'identifier le centre définitif qui peut secourir l'enjeu le plus rapidement.

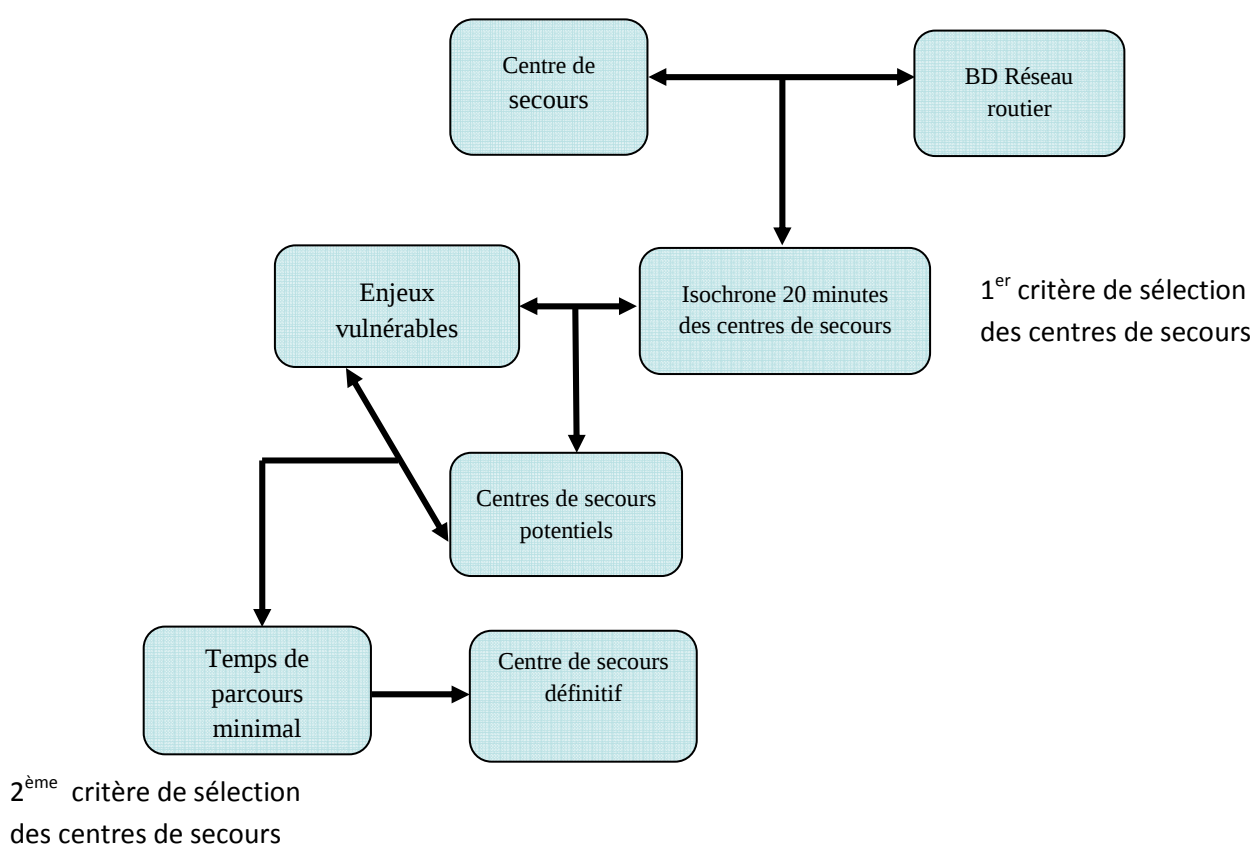


Figure 23 : Procédure de sélection des centres de secours

Le choix d'un centre de secours n'est pas figé. En effet, si le centre ne dispose pas de moyens humains et matériels au moment de la crise pour aller secourir ou évacuer un enjeu vulnérable qui lui a été affecté, un autre centre de secours pourra prendre le relais. Cela traduit la solidarité qui doit exister entre les centres de secours pour faciliter l'organisation de l'évacuation.

³⁴ Les acteurs de la sécurité civile (SDIS 37) définissent les isochrones 20 minutes comme les périmètres d'intervention des secours.

c) Etape 3 : Identification des lieux d'accueil des enjeux vulnérables

Les enjeux vulnérables une fois évacués doivent être dirigés vers des lieux d'accueil situés hors zone inondable. La localisation de tous les potentiels lieux d'accueil (hôpital, maison de retraite³⁵, gymnase, hôtel, ...) s'impose.

De même que pour les enjeux vulnérables, les lieux d'accueil doivent être divisés en plusieurs catégories. Cette typologie traduit les services qu'ils proposent (hôpital avec service de chirurgie, obstétrique, hôpital de psychiatrie...) ou le type de public qu'ils peuvent accueillir (personnes âgées, ...)

La typologie est le 1^{er} critère de sélection des lieux d'accueil potentiels à affecter à chaque enjeu vulnérable.

³⁵ Les personnes évacuées des maisons retraite peuvent être accueillies dans des établissements non spécialisés tels les gymnases, les hôtels, les écoles. Dans ce cas, il faut garantir un minimum de confort.

Les lieux d'accueil potentiels vont servir de base pour le choix des lieux définitifs. Le critère de sélection est le temps de parcours minimal depuis les enjeux vulnérables vers les lieux d'accueil.

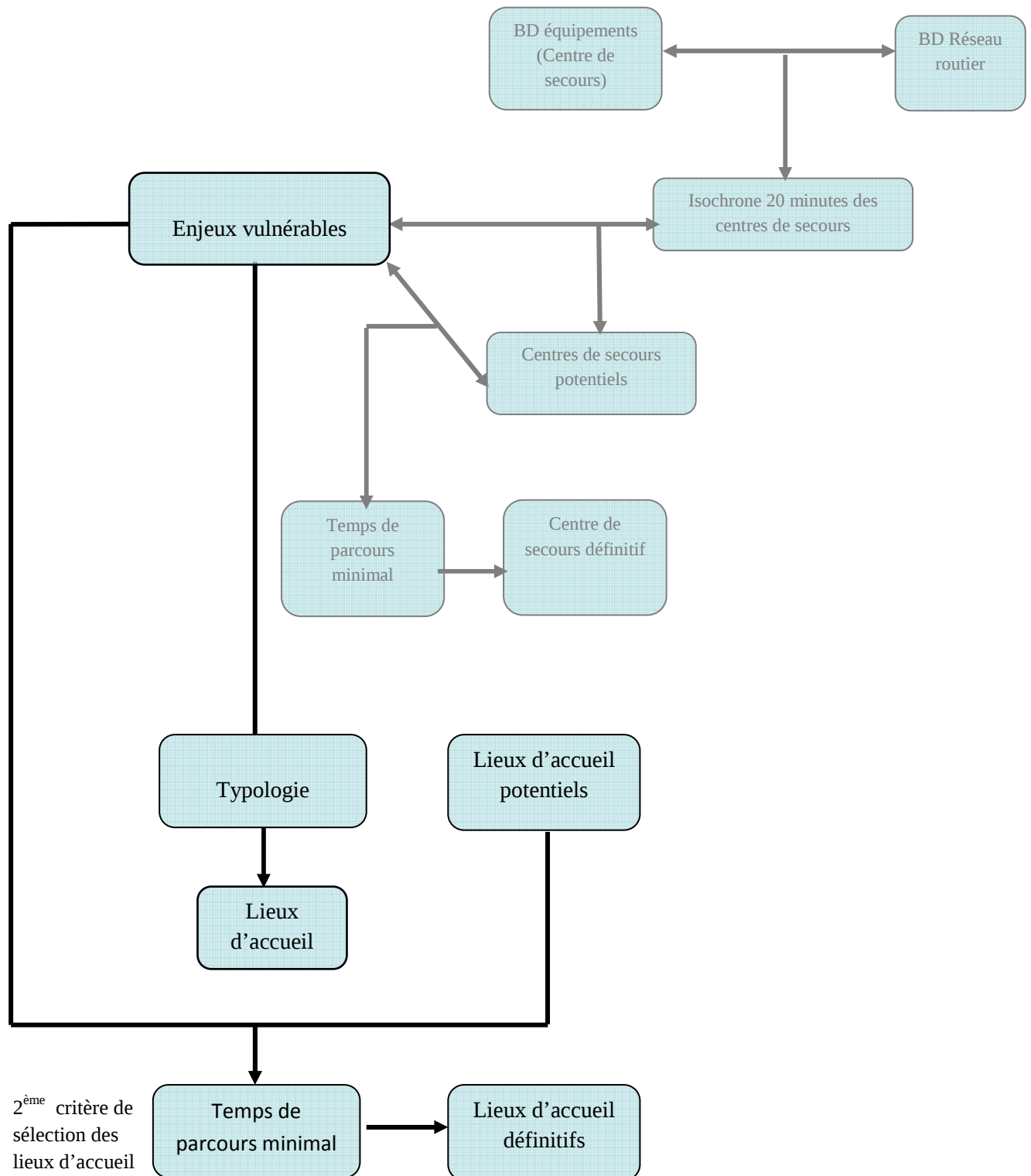


Figure 24 : Procédure de sélection des lieux d'accueil

d) Etape 4 : Elaboration des feuilles de routes

Cette étape débute par l'identification des plus courts chemins (chemins à utiliser en période normale et chemins de délestage) pour relier les enjeux vulnérables aux lieux d'accueil. Ces itinéraires ne sont pas optimaux. En effet, pour relier un enjeu vulnérable aux lieux d'accueil même si les itinéraires ont des tronçons de route en commun cette information ne sera pas prise en compte.

La mise en place de tournée de véhicule permettra d'optimiser les itinéraires minimaux. Lorsqu'une partie du trajet enjeu vulnérable-lieux d'accueil est utilisée plus d'une fois on peut envisager la possibilité de prendre en charge au point de départ des passagers pour les deux lieux d'accueil. Cela permettra de réduire la distance à parcourir mais aussi d'optimiser le temps de parcours.

A ce stade, les feuilles de route pour l'évacuation peuvent être élaborées car toutes les informations nécessaires sont disponibles.

Une feuille de route renseigne sur :

- l'enjeu à évacuer et sa typologie,
- le centre de secours optimal qui doit diriger l'opération d'évacuation
- les lieux d'accueil optimaux en termes de typologie et de temps de parcours
- les itinéraires minimaux pour relier les points de départ et d'arrivée
- les tournées de véhicules

23. Cas d'étude

L'hôpital Bretonneau fait partie du réseau des Hôpitaux de Tours. Il est situé dans le centre de Tours, dans une zone inondable et risque d'être impacté en cas de crue exceptionnelle. Ce centre hospitalier devient donc un point sensible, de part son rôle déterminant en cas de catastrophe, mais également de part la vulnérabilité des patients. En effet, la population d'un hôpital fait partie de la catégorie des personnes les moins autonomes et les plus fragiles du fait qu'ils nécessitent une assistance médicale.

Au-delà de la vulnérabilité de la population, la fragilité de l'hôpital est accrue avec la présence de matériel électrique et de matières dangereuses³⁶ sensibles à l'eau. Ces éléments peuvent augmenter les risques en cas d'inondation.

L'hôpital Bretonneau doit pour toutes ces raisons être évacué avant l'arrivée de la crue. Cette évacuation³⁷ se fait par des ambulances privées sélectionnées à l'avance mais la direction de l'opération est confiée à un centre de secours.

³⁶ L'hôpital Bretonneau contient des matières dangereuses qui font qu'il figure dans la base de la DRIRE des Installations Classées, mais n'est ni classé IPPC, ni SEVESO.

³⁷ La DDASS a mis en place un plan spécialisé de secours pour les centres hospitaliers Bretonneau et Clocheville dans lequel il est indiqué que l'évacuation de ces lieux qui dure 72 h doit être réalisé par du personnel médical.

En appliquant la démarche décrite précédemment, on va tenter d'élaborer une feuille de route pour optimiser les opérations d'évacuation de l'hôpital Bretonneau. Cela permettra par la suite de pointer les limites de la méthode.

Résultats et analyse

L'hôpital Bretonneau dispose de 788 lits et places. La mise en place d'une feuille de route en vue de son évacuation est soumise à un ensemble de contraintes (compatibilité entre services proposés par l'enjeu vulnérable et les lieux d'accueil, choix du centre de secours pour diriger les opérations, identification des plus courts chemins, ...) qu'il faut bien intégrer pour arriver à une optimisation de l'opération.

Le centre hospitalier doit être évacué vers des lieux d'accueil de même typologie que sont les hôpitaux et cliniques localisés sur le territoire du SCoT de l'agglomération tourangelles et hors zone inondable :

- Clinique Velpeau,
- CHU Trousseau,
- Centre psychothérapique de Tours sud
- Clinique Psychiatrique Universitaire
- Hôpital de l'Ermitage,
- Hôpital de l'alliance,
- Pôle Santé Léonard de Vinci

L'hôpital Bretonneau dispose de services de médecine, gynéco-obstétrique, chirurgie et psychiatrie. Lors de l'évacuation, il est important de diriger les patients vers des lieux d'accueil adéquats i.e. des cliniques ou hôpitaux offrant des services similaires à ceux que Bretonneau propose. Le choix du lieu d'accueil est donc contraint par le type de services proposés. A titre d'exemple, les patients du service de gynécologie de l'hôpital Bretonneau seront évacués vers le Pôle santé Vinci. Dans le tableau 15, on présente les contraintes liées aux services proposés par les lieux d'accueil.

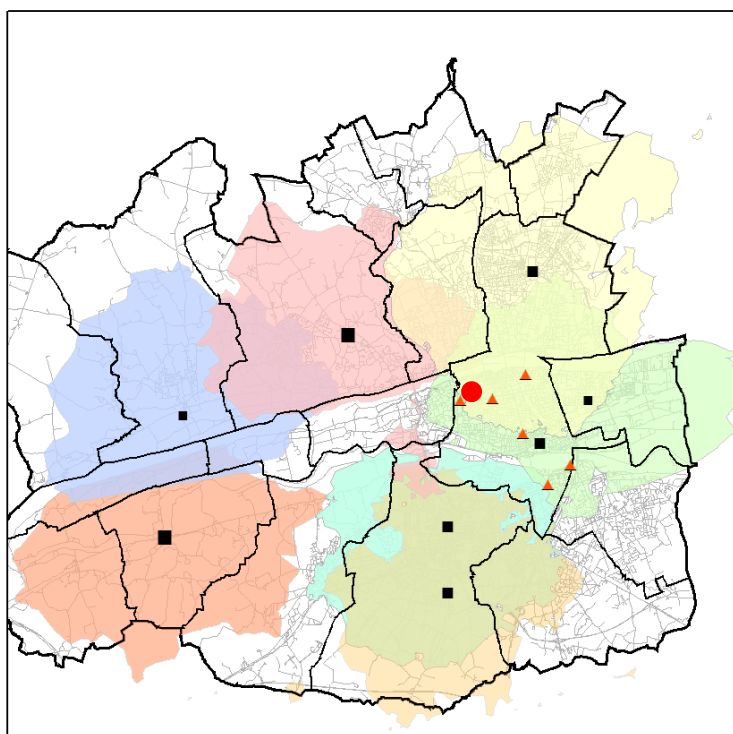
Tableau 15 : Services de l'enjeu vulnérable et des lieux d'accueil

		Hôpital Trousseau	Pôle Santé Léonard de Vinci	Clinique Psychiatrique Universitaire	Centre psychothérapique de Tours sud
Services de l'hôpital Bretonneau	Médecine	X	X		
	Gynéco- obstétrique		X		
	Chirurgie	X			
	Psychiatrie			X	X

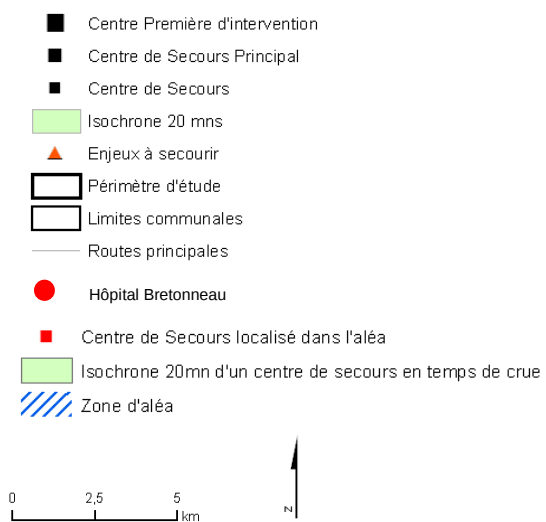
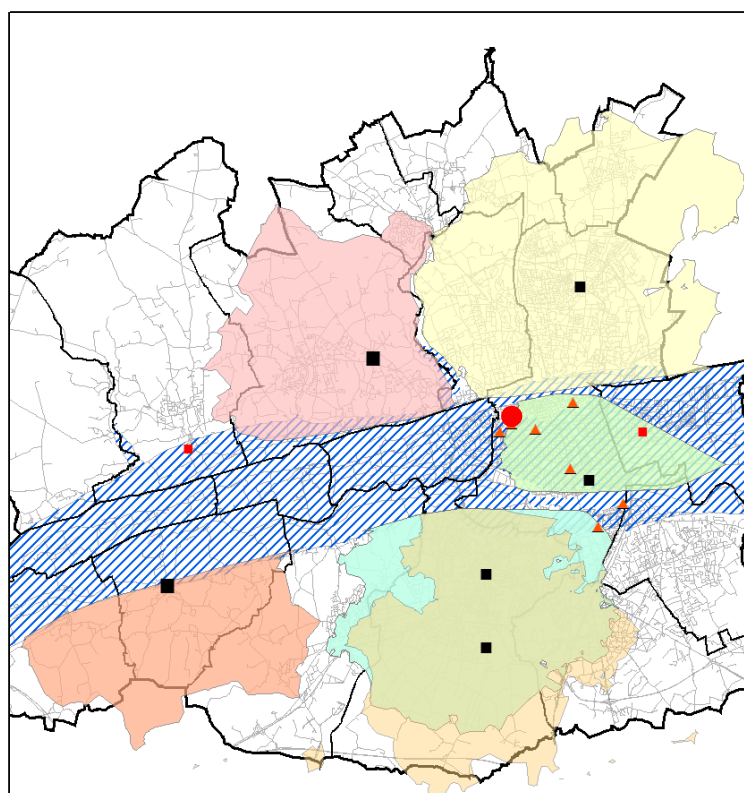
L'hôpital Bretonneau est localisé dans l'isochrone 20 minutes (voir carte 16) des deux Centres de Secours Principaux (CSP) de Tours en période normale. Néanmoins, le calcul du temps minimal révèle que le CSP de Tours Nord est capable de l'atteindre le plus rapidement. En effet, le temps de parcours du CSP Tours Nord à l'hôpital Bretonneau est de 19 minutes et 12 secondes alors que celui du CSP de Tours Sud est de 19 minutes et 36 secondes. Le CSP de Tours Nord a donc été retenu pour diriger les opérations d'évacuation de l'hôpital. Il est quand même important de préciser que le

choix d'un centre de secours n'est pas définitif du fait des imprévus qui peuvent survenir en temps réel.

Isochrone 20 minutes pour les centres de secours en situation normale



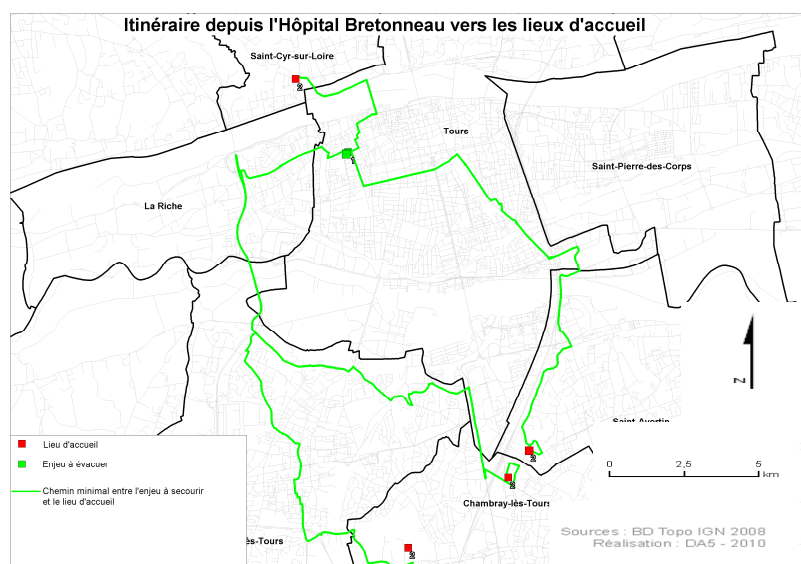
Isochrone 20 minutes pour les centres de secours en situation de crue



Sources : BD Topo IGN 2008
Réalisation : DA5 - 2010

Carte 16 : Isochrones 20 minutes des centres de secours

La carte 17 présente les chemins minimaux entre l'hôpital Bretonneau et les différents lieux d'accueil. Ces itinéraires ne sont pas optimaux car ils n'intègrent pas la notion de tournée de véhicules qui permet de desservir plusieurs lieux d'arrivée en partant d'un seul lieu de départ. En effet, les chemins permettant de relier l'hôpital Bretonneau à l'hôpital Trousseau et l'hôpital Bretonneau au Pôle santé Vinci ont une partie commune, donc il serait possible de desservir ces deux lieux en une seule tournée. L'établissement de tournée de véhicules va permettre d'optimiser le temps d'évacuation de l'hôpital Bretonneau.



Carte 17 : Chemins minimaux pour l'évacuation de Bretonneau

L'évacuation de l'hôpital Bretonneau tient compte des lieux d'accueil, des chemins minimaux pour permettre d'établir des tournées de véhicules optimales.

Les tournées de véhicules sont des tournées types, elles ne prennent pas en compte le temps nécessaire pour évacuer l'enjeu vulnérable mais indiquent le temps de parcours et l'itinéraire pour rejoindre les lieux d'accueil. Les tournées se feront donc jusqu'à évacuation complète de l'enjeu vulnérable.

Tournée 1 :

Pendant la 1ère tournée, une partie du service psychiatrique va être évacuée.

Bretonneau — Clinique Psychiatrique Universitaire (Saint-Cyr-sur-Loire) : 10'36''

Clinique Psychiatrique Universitaire — Bretonneau : 10'36''

Tournée 2 :

Pendant la 2ème tournée, le reste du service psychiatrique et une partie des services de médecine et de chirurgie vont être évacués.

Bretonneau — Centre psychothérapique de Tours sud : 33'42''

Centre psychothérapique de Tours sud — Hôpital Trousseau : 3'48''

Hôpital Trousseau — Bretonneau : 35'57''

La tournée 2 propose un itinéraire qui permet d'arrivée à destination mais l'itinéraire n'est pas minimal. Pour que l'itinéraire soit minimal il aurait fallu emprunter la rue

National, puis l'avenue Grandmont mais à cause d'un problème au niveau du réseau routier de l'IGN il est impossible d'emprunter ces routes.

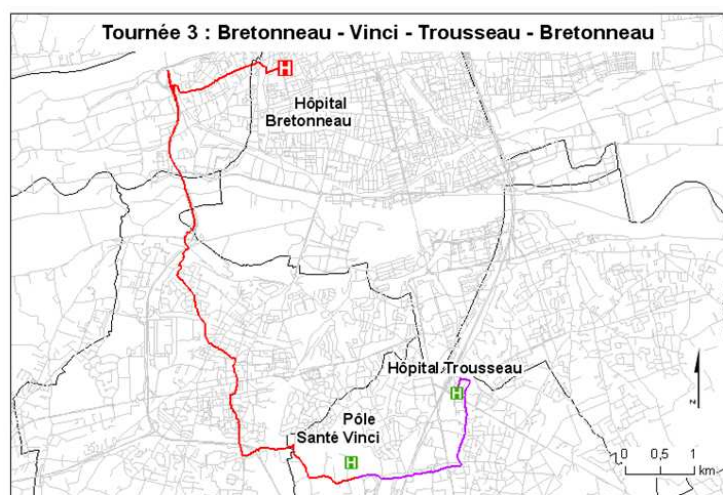
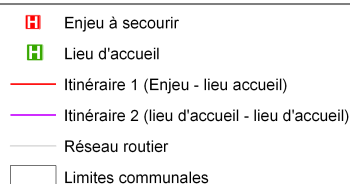
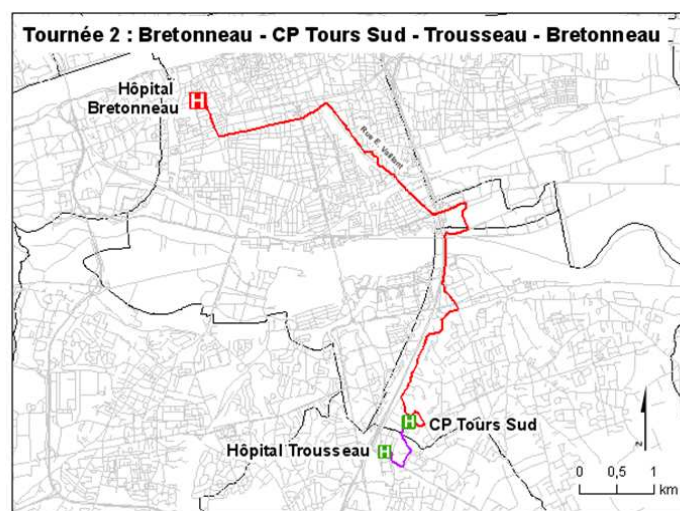
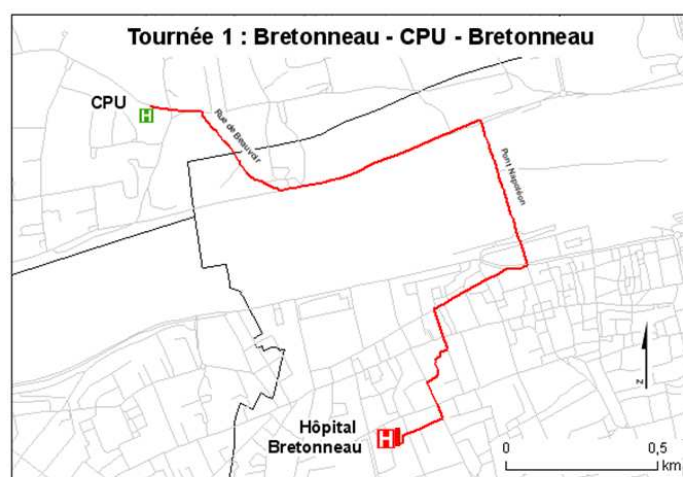
Tournée 3 :

Pendant la 3ème tournée, les services de médecine, de chirurgie, de gynéco-obstétrique vont être évacués.

Bretonneau — Pôle Santé Léonard de Vinci : 34'15''

Pôle Santé Léonard de Vinci — Hôpital Trousseau : 12'30''

Hôpital Trousseau — Bretonneau : 35'57''



Carte 18 : Tournées de véhicules pour l'évacuation de l'hôpital Bretonneau

La hiérarchisation des tournées est basée sur le temps minimum des parcours, les moyens matériels et humains nécessaires. Lors d'une évacuation, on cherche d'abord à mettre hors de danger un maximum de personnes.

Dans cette optique, les patients en service psychiatrique seront les premiers à être évacués car leur premier lieu d'accueil, la Clinique Psychiatrique Universitaire, se trouve à près de 10 minutes de l'hôpital Bretonneau et que de plus ils nécessitent moins d'assistance que les autres patients. Pendant l'évacuation de ce service, les autres patients qui nécessitent une plus grande attention seront préparés pour être évacués.

24. Limite

Cette méthode qui vise à établir des feuilles de route pour faciliter l'évacuation des enjeux vulnérables (hôpitaux, maison de retraite,...) comporte une limite due au fait qu'elle n'a pas intégré un ensemble de paramètres. Ces paramètres n'ont pas été pris en compte d'une part du fait du manque de données et d'autre part du fait de leur caractère dynamique.

Les centres hospitaliers reçoivent des patients présentant différentes pathologies qu'il convient de diriger vers des services adéquats (médecine, chirurgie,...) dans le cas d'une évacuation préventive. Par conséquent il est important d'identifier des lieux d'accueil pouvant offrir à ces personnes l'assistance médicalisée nécessaire. Pour limiter les pertes de vie, il faut trouver des lieux pour loger toutes les personnes évacuées. On connaît la capacité de chaque lieu d'accueil mais on ne peut pas estimer la capacité qui sera disponible au moment de la crise.

Pour l'évacuation d'un malade il faut disposer d'un infirmier et d'un médecin³⁸. La capacité de l'établissement de santé peut permettre d'estimer les moyens humains nécessaires à son évacuation. Mais, cette capacité ne tient pas compte des personnes présentes dans les urgences.

Chaque malade nécessite une évacuation spécialisée. Certains doivent être sous perfusion pendant le trajet et d'autres pas. Il faut estimer le nombre de malades nécessitant un matériel spécial pour l'évacuation et de ceux qui en n'ont pas besoin. Cette estimation permet de connaître les équipements médicaux nécessaires pour l'évacuation.

Connaissant les différents types de patients à évacuer et leur quantité, on peut alors estimer le matériel roulant nécessaire.

Le temps nécessaire à l'évacuation de chaque type de patient permettra d'estimer le temps total nécessaire pour l'évacuation de l'établissement.

³⁸ La DDAS direction des services sanitaires de la région centre a mis en place un plan de secours spécialisé dans lequel elle a estimé le personnel médical nécessaire pour l'évacuation de chaque malade.

Ces aspects n'ont pas été intégrés dans notre démarche mais en période de crise ils pourront être pris en compte en temps réel. Ils seront alors des critères qui permettront d'affiner le choix des différents paramètres qui entrent dans l'élaboration des feuilles de route.

3. Evacuation préventive de la population (hors enjeux vulnérables)³⁹

La population non localisée dans les enjeux vulnérables doit aussi être évacuée avant l'arrivée de la crue dès l'alerte du préfet. Un plan d'évacuation doit donc être ébauché avant la crise pour permettre d'optimiser le temps d'évacuation et arriver à évacuer le nombre maximal de personnes avant la crue.

Cette partie est consacrée à la mise en place d'une démarche pour l'élaboration d'un plan d'évacuation.

31. Formalisation théorique du problème d'optimisation

Description des données

Les communes situées en zone inondable ont une population à évacuer alors que les communes hors aléa ont des lieux d'accueil à proposer. Le plan d'évacuation d'une commune doit répondre à plusieurs requêtes de transport simultanées d'un point de départ (IRIS ou quartier) vers un point d'arrivée (zone d'accueil). Ce plan doit permettre de réaliser les opérations pendant un temps minimal en intégrant un ensemble de paramètres.

Outils utilisés

Les calculs d'accessibilité sont réalisés avec l'outil ChronoMap basé sur l'algorithme des plus courts chemins. Le véhicule utilisé est une voiture et la vitesse pratiquée est de 25 km/h sur les rues principales.

32. Démarche

Idée générale

La démarche est divisée en trois étapes :

- A l'étape 1, on cherche à estimer la population à évacuer et localiser les zones d'accueil
- Pendant la deuxième étape, on identifie les zones d'évacuation par le biais de calcul d'accessibilité et de la capacité des zones d'accueil
- A l'étape 3, on élabore le plan d'évacuation

³⁹ Josselin (Didier), Nicot (Bernadette).- « Un modèle gravitaire géoéconomique des échanges commerciaux entre les pays de l'UE, les PECO et les PTM ».- Cybergeog, n°237, 2003.-pp 2-26

Description de la démarche

a) Etape 1 : Estimation de la population à évacuer et localisation des zones d'accueil

L'évacuation de la population qui se fait à l'échelle communale a des répercussions sur tout le territoire. En effet, une commune située en zone inondable doit pouvoir assurer l'hébergement de sa population dans des lieux hors aléa. Il faut donc identifier les communes qui sont à évacuer et celles qui vont accueillir la population. Une typologie des communes selon leur localisation par rapport à la zone inondable permet de les classer en :

- à évacuer quand elles sont entièrement localisées dans l'aléa,
- mixtes quand elles sont partiellement inondées
- d'accueil quand elles sont localisées hors zone inondable

Une fois les communes inondables identifiées, il faut estimer la population touchée par les inondations qui sera à évacuer.

Dans les communes, il y a deux catégories de population. La 1^{ère} catégorie dispose d'un véhicule et nécessite les itinéraires à suivre pour rejoindre le lieu d'accueil. La seconde catégorie ne dispose pas de véhicules et son évacuation se fait en deux temps. Dans un premier temps ces habitants seront invités à rejoindre les points de rassemblement qui peuvent être des gares, des stades, des écoles et dans un second temps des moyens de transports seront mis à leur disposition pour les évacuer vers les lieux d'hébergement.

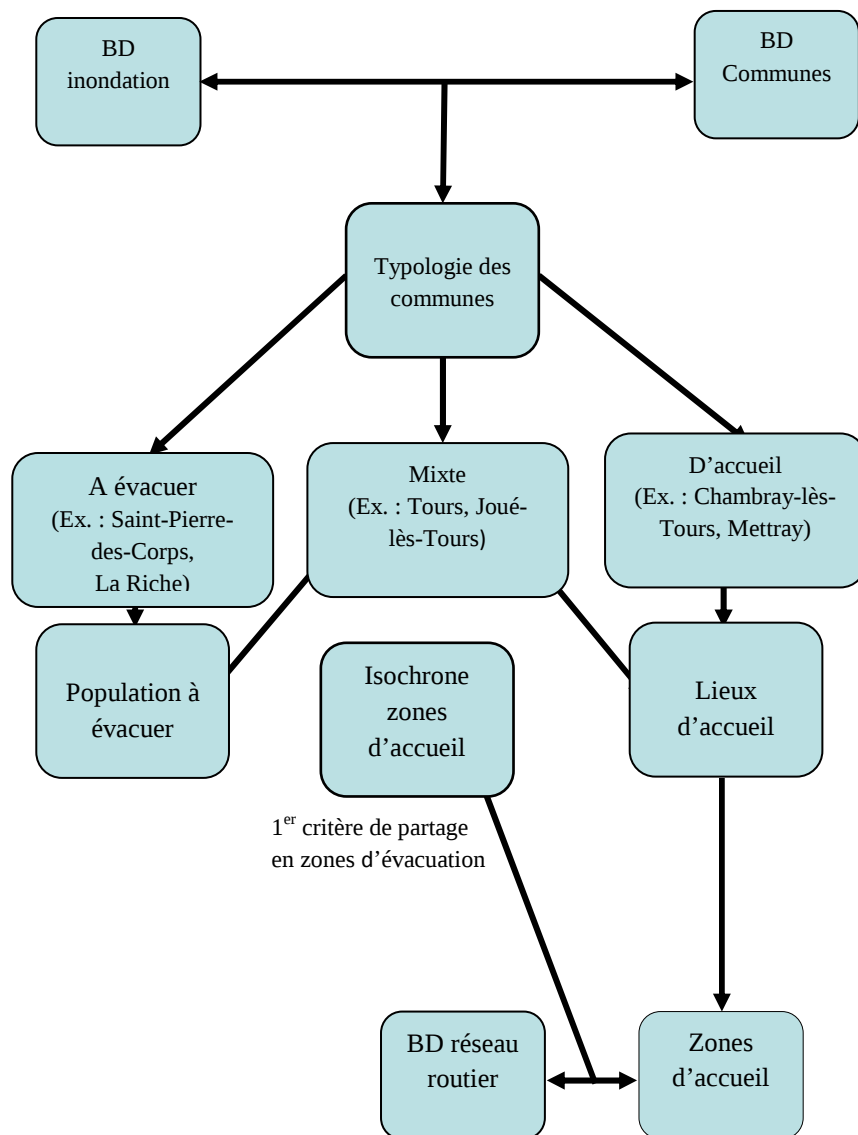
Les zones de rassemblement peuvent être situées en zone inondable du fait que l'évacuation de la population se fait avant l'arrivée de la crue.

L'hébergement des populations évacuées se fait dans les communes mixtes et d'accueil. Pour ces communes, il faut localiser tous les lieux d'accueil (écoles, salles des fêtes, gymnases, hôtels, ...) et estimer leur capacité.

Une commune d'accueil sera divisée en plusieurs zones de concentration des lieux d'accueil et chaque zone sera représentée par son centroïde auquel on affectera la somme de la capacité des lieux qui le composent. Le choix de regrouper les lieux d'accueil en des zones d'accueil se justifie par le fait dans les calculs d'accessibilité il faut un point représentatif à partir duquel on peut calculer un itinéraire.

Des isochrones 30 minutes permettent d'identifier les parties du territoire qui disposent d'une potentielle zone d'accueil.

Figure 25 : Procédure d'estimation de la population à évacuer et d'identification des zones d'accueil



b) Etape 2 : Localisation des zones d'évacuation

Lors de l'évacuation préventive toute la population ne pourra pas simultanément laisser leur habitation ou quartier pour se diriger vers les mêmes lieux d'accueil. Des zones d'évacuation doivent être définies pour permettre d'organiser les flux à l'intérieur de la commune.

Ces zones d'évacuation dépendent de la population à évacuer, de la localisation et de la capacité des zones d'accueil.

Le lieu de rencontre des isochrones 30 minutes est le 1^{er} critère de partage de la commune. Le sens d'évacuation des zones d'évacuation peut alors être identifié.

Ce partage de la commune basé sur les isochrones 30 minutes n'est pas toujours optimal du fait qu'il ne prend pas en compte la capacité des zones d'accueil.

Dans le cas où les zones d'évacuation ne peuvent pas être entièrement hébergées dans les zones d'accueil, un deuxième partage de la commune s'impose.

Pour chaque IRIS ou quartier de la commune à évacuer, on calcule le temps de parcours vers les différentes zones d'accueil. Le temps de parcours minimal et la capacité d'hébergement seront les critères d'affectation d'une nouvelle zone d'accueil à l'IRIS ou au quartier.

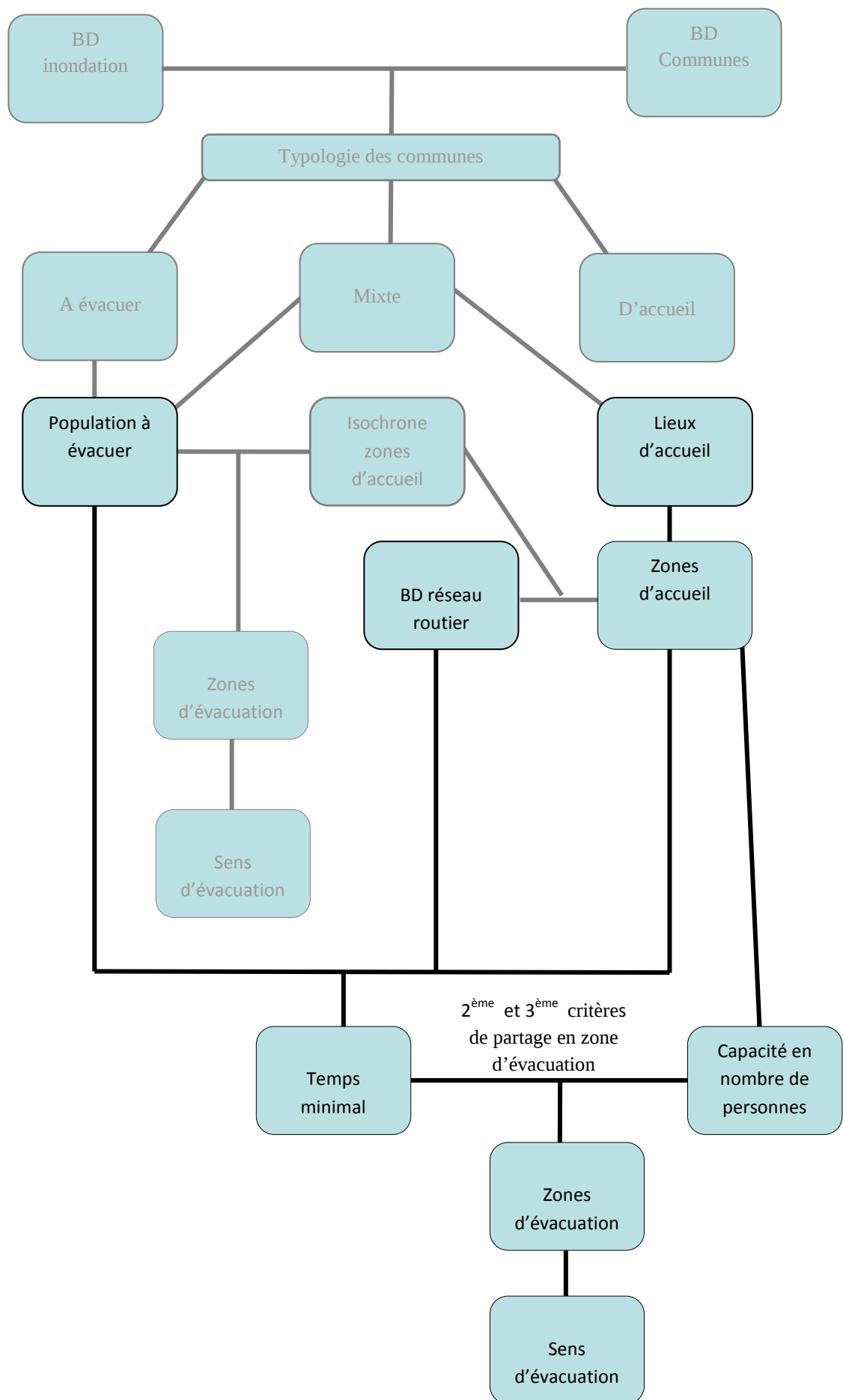


Figure 26 : Procédure de mise en place des zones d'évacuation

c) Etape 3 : Elaboration du plan d'évacuation

Le découpage de la commune en zone d'évacuation a permis d'identifier les lieux d'accueil mais aussi le sens d'évacuation. Pour établir le plan d'évacuation il faut préciser les itinéraires à emprunter et l'ordre d'évacuation des zones, IRIS ou quartier.

Les itinéraires à emprunter sont les plus courts chemins permettant de relier les zones évacuées aux zones d'accueil.

L'ordre d'évacuation des zones découlera du classement multicritère⁴⁰ mais aussi des itinéraires. En effet, le multicritère fournit des résultats basés sur la vulnérabilité qu'il est important d'intégrer mais, si les flux sortant des IRIS ou quartiers n'empruntent pas les mêmes chemins, plusieurs IRIS peuvent être évacués en même temps.

33. Cas d'étude

Saint-Pierre des Corps, commune de plus de 15 000 habitants abrite un ensemble d'enjeux importants (population, entreprises) et parfois dangereux (Seveso, ICPE). Cette commune est très vulnérable d'une part parce qu'elle est située derrière les digues, dans la zone de destruction brutale des inondations (dans le cas d'une inondation avec rupture de digue) et d'autre part parce qu'elle abrite des entreprises qui peuvent augmenter le risque par pollution ou autre. La vulnérabilité de Saint-Pierre-des-Corps augmente aussi avec le fait qu'elle sert de champ d'expansion des crues pour retarder l'inondation de la commune de Tours⁴¹.

Cette vulnérabilité de la commune implique qu'en période d'inondation les réseaux seront coupés et que l'accessibilité de la commune sera diminuée. L'évacuation de la population doit donc se faire avant l'arrivée de la crue pour limiter les dommages directs sur la population.

Résultats et analyse

Sur le territoire d'étude les communes ne sont pas identiques. Chacune d'entre elles a un rapport différent avec le risque du fait de leur localisation par rapport aux zones inondables mais aussi du fait de leur capacité à y faire face. Il convient alors, de faire une typologie des communes selon leur localisation par rapport à l'aléa d'inondation pour identifier les communes qui pourront aider à la gestion de crise pour l'hébergement de la population vulnérable⁴². Le territoire sera donc divisé en communes à évacuer, communes mixtes et communes d'accueil (voir carte 19).

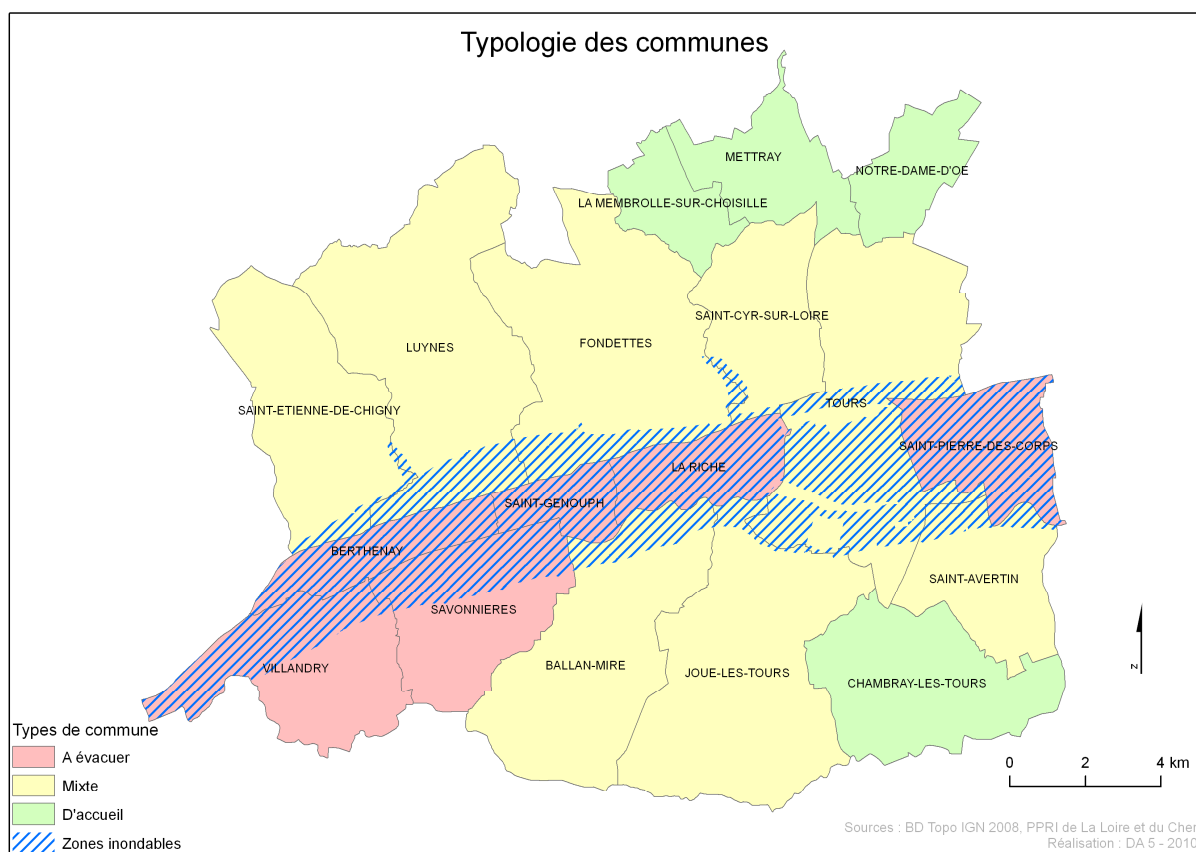
Les communes à évacuer sont celles qui sont entièrement inondées comme La Riche, Berthenay, Saint-Genouph et Saint-Pierre-des-Corps. Alors que les communes mixtes sont celles qui ont une partie de leur territoire en zone inondable à évacuer et l'autre partie hors zone inondable pouvant accueillir la population évacuée, ces communes sont Tours, Luynes et Ballan-Miré. Les communes d'accueil sont celles situées hors zone

⁴⁰ Les IRIS ont été classés suivant leur degré de vulnérabilité par la méthode multicritère. Cette classification va permettre de hiérarchiser l'évacuation pour optimiser les flux de véhicules à l'intérieur de la commune.

⁴¹ Lors de l'exercice de 2003 le préfet a ordonné la mise en place de batardeaux pour protéger la commune de Tours des inondations au détriment de la commune de Saint-Pierre des Corps.

⁴² La population vulnérable est celle située en zone inondable.

inondable et qui disposent d'établissement pouvant accueillir la population évacuée des autres communes.



Carte 19 : Typologie des communes

La commune de Saint-Pierre-des-Corps est entièrement inondée et par conséquent toute la population devra être évacuée. Tous les habitants de Saint-Pierre-des-Corps ne disposent pas d'un véhicule pour leur évacuation, il faut donc identifier ceux qui auront besoin d'un moyen de transport pour rejoindre les lieux d'accueil. En se basant sur les données de l'INSEE⁴³, on évalue à plus de 3 000 les habitants qui ne disposent pas de véhicule. Cette catégorie de population non motorisée doit être dirigée vers des lieux de rassemblement comme la gare ferroviaire pour ensuite être évacuée vers les lieux d'accueil.

Les lieux d'accueil sont des établissements recevant du public localisés dans les communes d'accueil et dans les communes mixtes hors zone inondable. Ils peuvent être :

- des établissements sportifs (gymnases, ...)
- des établissements religieux (églises, presbytères, ...)
- des établissements scolaires et universitaires (écoles, crèches, ...)
- des établissements hôteliers
- des établissements culturels (salles des fêtes, ...)

⁴³ Les données du recensement 2006 de l'INSEE indiquent pour chaque IRIS la population, les ménages qui possèdent un véhicule et à l'échelle de la France le taux de personnes par ménages. Par un simple calcul on arrive à évaluer la population ne disposant pas de véhicule.

- des campings

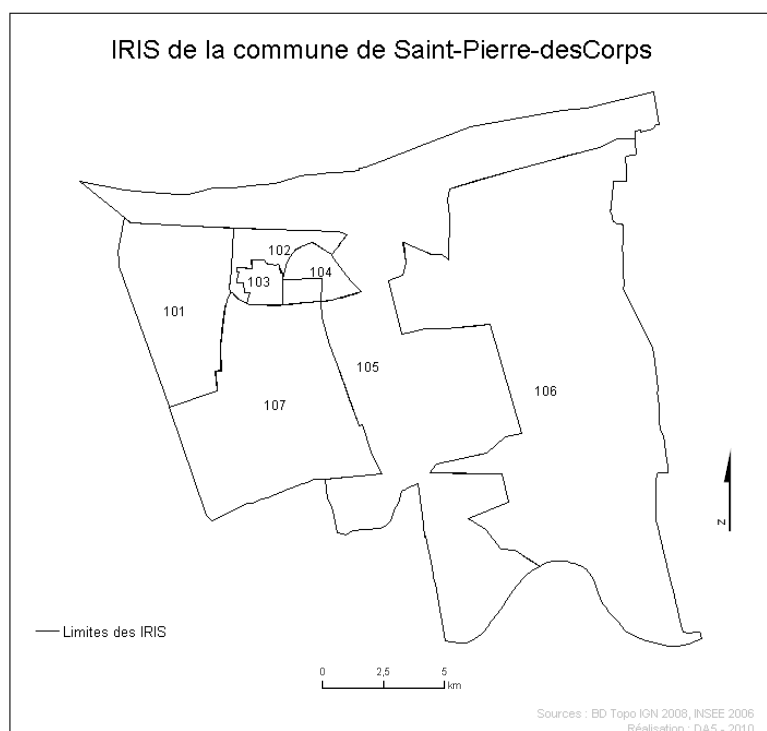
Pour l'évacuation de Saint-Pierre-des-Corps, les communes de Saint-Avertin, Joué-lès-Tours, Chambray-lès-Tours et Rochecorbon sont des potentiels lieux d'accueil de part leur localisation (au Nord et au Sud), leur proximité et la présence d'établissements d'hébergement.

Pour chacune de ces communes, une zone de concentration des lieux d'accueil représente une zone d'accueil et va être symbolisée par son centroïde et affectée de la somme de la capacité des centres d'hébergement qui la composent.

Tableau 16 : Capacité en nombre de personnes des zones d'accueil

	Rochecorbon	Saint-Avertin	Joué-lès-Tours	Chambray-lès-Tours
Types de communes	Mixte	Mixte	Mixte	D'accueil
Capacité théorique	800	1500	4000	4000
Population de la commune à héberger	500	1300	200	0
Capacité d'accueil de la population des communes avoisinantes	300	200	3800	4000

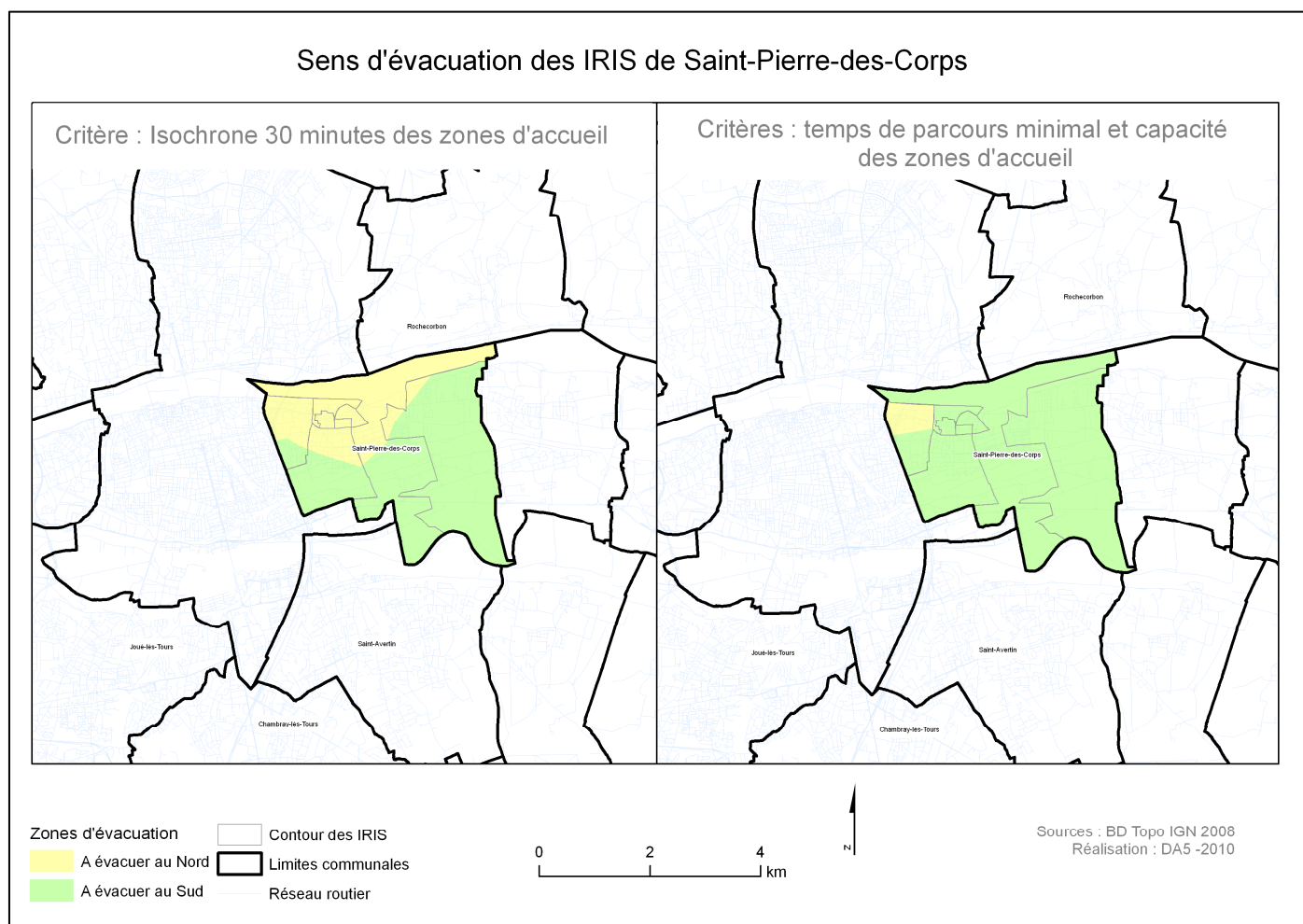
Le choix des zones d'accueil étant arrêté, il faut planifier l'évacuation de la commune. Pour cela nous allons considérer le découpage de la commune en IRIS. Saint-Pierre des Corps est divisé en sept IRIS (carte 20).



Carte 20 : Découpage de Saint-Pierre des Corps en IRIS

Pour optimiser le choix des lieux d'accueil, des calculs d'accessibilité vont être effectués.

Le découpage de la commune en zones d'évacuation va se faire sur la base des isochrones 30 minutes des zones d'accueil. Pour chaque zone d'accueil, l'isochrone 30 minutes sera calculé, leur lieu de rencontre correspond au lieu de partage de la commune. La carte 21 présente le découpage de Saint-Pierre des Corps en deux zones à évacuer au Nord et au Sud obtenu avec ce critère. La zone d'évacuation Nord rassemble une population de plus 11 000 habitants ce qui dépasse largement la capacité des communes au Nord (Rochecorbon). Le découpage va donc être modifié pour mieux intégrer cette capacité d'accueil.



Carte 21 : Zones d'évacuation de la commune de Saint-Pierre-des-Corps

Le temps de parcours depuis les IRIS vers les zones d'accueil sera calculé. Le temps de parcours minimal est le critère de sélection de la commune d'accueil. Une fois le lieu d'hébergement choisi on va vérifier si sa capacité permet de recevoir toute la population de l'IRIS. En se basant sur le tableau 16 on affecte l'IRIS n° 101 à Rochecorbon. Mais, cet IRIS a une population de 2 394 habitants qui dépasse largement la capacité d'accueil de Rochecorbon. D'autres lieux d'accueil seront donc choisis sur la base du temps minimal et de la capacité d'accueil. Cela conduit à diriger une partie la population vers Rochecorbon et l'autre partie vers Joué-lès-Tours.

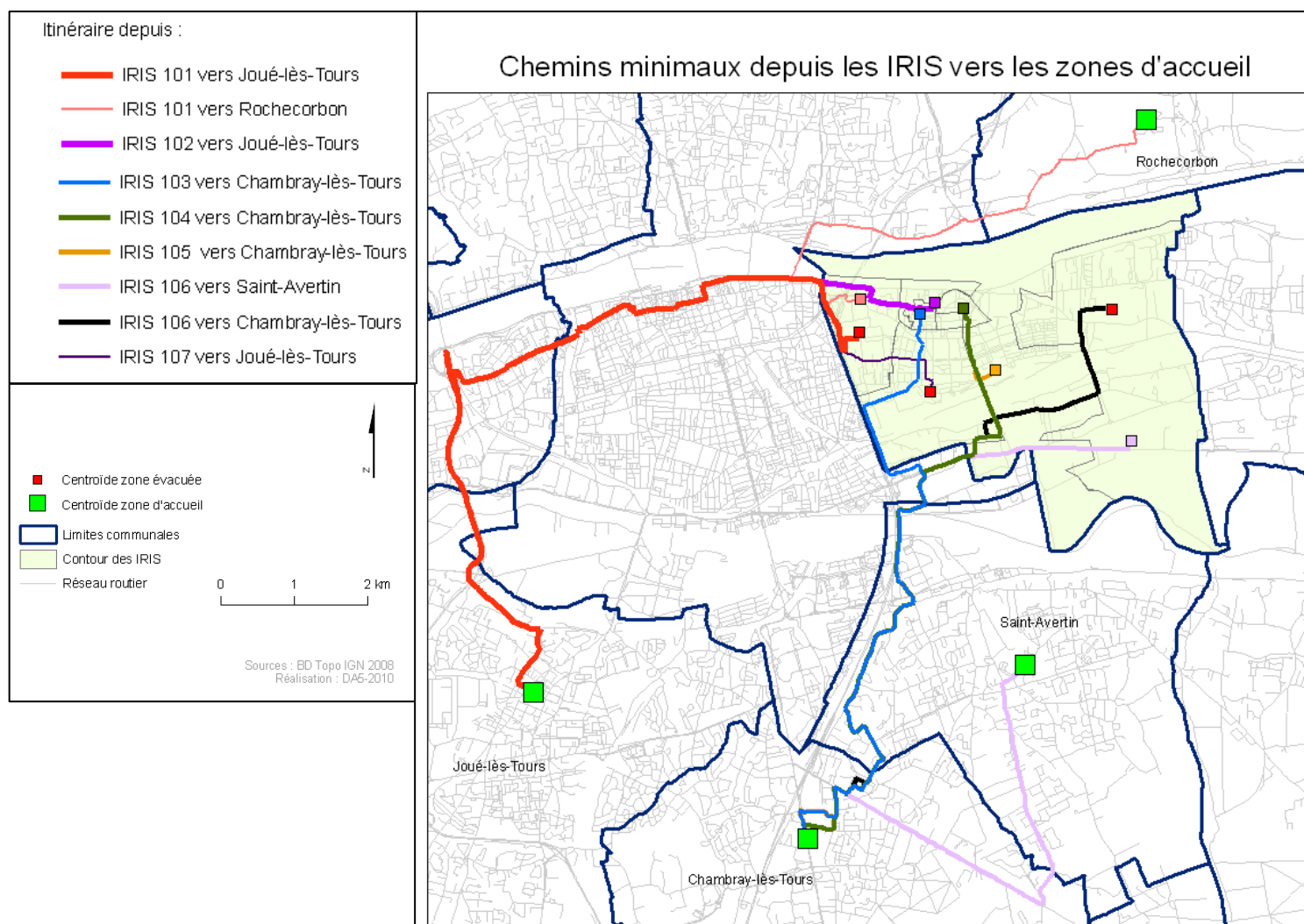
La carte 21 reprend le découpage issu de l'intégration des ces critères de temps minimal et de capacité des lieux d'accueil.

Tableau 17 : Temps de parcours minimal depuis les IRIS de Saint-Pierre-des-Corps vers les lieux d'accueil

IRIS	Rochecorbon	Joué-Lès-Tours	Chambray-lès-Tours	Saint-Avertin
101	23'57"	29'35"	30'12"	45'43"
102	25'37"	31'55"	33'35"	49'10"
103	25'00"	31'07"	32'36"	48'06"
104	26'41"	32'58"	32'17"	47'38"
105	29'41"	35'49"	30'40"	46'12"
106	35'56"	42'23"	32'13"	47'42"
107	28'11"	33'55"	30'21"	45'47"

Les zones d'évacuation ne suffisent pas pour élaborer le plan d'évacuation, il faut établir les itinéraires minimaux pour rejoindre les lieux d'accueil et établir l'ordre d'évacuation des IRIS.

La carte suivante présente les itinéraires optimaux. La majorité des flux sortant des différents IRIS utilisent les mêmes chemins, pour empêcher la congestion des routes il faut donc hiérarchiser leur évacuation. Cette hiérarchisation des IRIS sera basée sur les résultats du classement multicritère selon la vulnérabilité.



Carte 22 : Itinéraires d'évacuation de la commune de Saint-Pierre-des-Corps

La figure 27 présente le classement des IRIS de Saint-Pierre-des-Corps selon leur degré de vulnérabilité. Si on se base uniquement sur ces résultats, l'évacuation des IRIS 101 et 107 doit se faire en même temps. Or, l'IRIS 101 doit se diriger vers deux lieux d'accueil, il faut donc établir une priorité au sein même de ce périmètre. Pour la partie de l'IRIS 101 qui se dirige vers Joué-lès-Tours, elle va emprunter les mêmes itinéraires que l'IRIS 107, on comprend bien qu'il faut une fois de plus établir une autre nouvelle hiérarchisation prenant en compte les itinéraires. Le classement multicritère s'avère insuffisant pour établir le plan d'évacuation.

Rang	Action *
1	Spi06
2	Spi01 Spi07
3	Spi05
4	Spi02
5	Spi04
6	Spi03

* Spi06 correspond à l'IRIS 106

Figure 27 : Classement des IRIS de Saint-Pierre-des-Corps selon leur degré de vulnérabilité

Le multicritère fournit un 1^{er} classement des IRIS. Si des IRIS sont au même niveau dans ce classement, le flux sortant (nombre d'habitants), le temps de parcours et les itinéraires d'évacuation permettront d'obtenir le classement final.

Les flux sortant de l'IRIS 106 se dirigent vers deux communes différentes mais empruntent les mêmes itinéraires. De plus, l'intensité des flux est quasi identique (1 500 vers Saint-Avertin et 1 456 vers Chambray-lès-Tours). Pour l'évacuation de l'IRIS, les critères de hiérarchisation se limitent donc au temps de parcours. Le temps de parcours de la partie de l'IRIS se dirigeant vers Saint-Avertin étant maximal (voir tableau 17), elle sera donc la première à être évacuée.

Avec des considérations similaires pour chaque IRIS, on arrive à obtenir le classement repris dans le tableau 18.

Tableau 18 : Ordre d'évacuation des IRIS

IRIS	Ordre d'évacuation	Intensité du Flux sortant (en nombre d'habitants)	Lieux d'accueil
106	1	1500	Saint Avertin
	2	1456	Chambray-lès-Tours
101	1	500	Rochechouart
	2	1894	Joué-lès-Tours
105	3	1963	Chambray-lès-Tours
107	3	2715	Joué-lès-Tours
104	4	1563	Chambray-lès-Tours
102	4	2280	Joué-lès-Tours
103	5	1780	Chambray-lès-Tours

Le plan
d'évacuation de
Saint-

Pierre-des-Corps est donc constitué :

- du tableau reprenant l'ordre dans lequel les IRIS doivent être évacués
- de la carte qui reprend les chemins minimaux reliant les zones d'évacuation aux lieux d'accueil.

34. Limites

Cette démarche a permis de mettre en place un plan d'évacuation des habitants de la commune de Saint-Pierre-des-Corps, donc elle ne prend en compte que les flux sortants. Mais, avant l'arrivée de la crue certaines personnes vont vouloir entrer dans la commune pour diverses raisons. Ces flux entrants n'ont pas été pris en compte car on considère que deux jours avant l'arrivée de la crue, l'évacuation est prioritaire. Toutefois, il peut être possible d'entrer dans la commune avant ces deux jours.

4. Une démarche qui vise à optimiser l'organisation de l'évacuation

La connaissance de la vulnérabilité sert en général à mieux appréhender les faiblesses et les forces d'un territoire. Dans cette partie, on a montré qu'au-delà de cette meilleure connaissance du territoire, la vulnérabilité peut être un outil de gestion de crise.

Cette connaissance de la fragilité du réseau routier est traduite en termes de gestion de crise par l'évacuation préventive de la population. Les démarches proposées ont permis d'élaborer une feuille de route pour l'évacuation de l'Hôpital Bretonneau et un plan d'évacuation de la commune de Saint-Pierre-des-Corps. Ces plans d'évacuation rassemblent toutes les informations nécessaires pour une optimisation des opérations d'évacuation à savoir les lieux à évacuer et d'accueil, les plus courts chemins à emprunter pour relier les points de départ et d'arrivée mais aussi l'ordre dans lequel un enjeu doit être évacué.

Nos cas d'étude peuvent paraître réducteurs par le fait que l'évacuation est simplifiée quand on considère un seul enjeu vulnérable ou une seule commune. Mais, avec ces exemples on n'avait que la prétention d'illustrer une méthodologie qui pourra être utilisée à différentes échelles selon les besoins.

On est conscient qu'il est impossible de laisser à chaque commune le soin de mettre en place son plan d'évacuation⁴⁴ et que cette démarche doit se faire à un niveau plus global (intercommunalité, Etat). Notre méthodologie peut donc servir de base pour une réflexion à une plus grande échelle pour l'évacuation de la population.

⁴⁴ La préfecture d'Indre-et-Loire pense que l'évacuation est du ressort des communes et que l'état ne doit pas y interférer. Cependant, si on se base sur la distribution des zones inondables fournis par le PPRI, une inondation dans ce périmètre ne touche pas une seule commune mais plusieurs. Et de ce fait, le préfet sera l'autorité compétente pour la gestion de la crise et devra se pencher sur la question de l'évacuation de la population.

CONCLUSION

La vulnérabilité indirecte du réseau routier face aux inondations est une donnée importante en termes de prévention et de gestion de crise. On s'était proposé d'évaluer cette vulnérabilité dans une optique de prévention et de gestion de crise. Par conséquent, on cherche à apporter des éléments de réponse aux questionnements des acteurs en ébauchant des outils pour une meilleure organisation de l'évacuation de la population en situation d'inondation.

Dans ce projet on s'est d'abord penché sur l'accessibilité spatio-temporelle des différents enjeux majeurs et des communes pour évaluer l'impact du dysfonctionnement du réseau routier en situation d'inondation. Avec cette approche, on a pu noter une perte d'accessibilité pour la majorité des communes de Tours(Plus) en situation d'inondation. A titre d'exemple, en période normale la distance à parcourir (distance cumulée depuis toutes les autres communes) pour rejoindre la commune de Ballan-Miré est d'environ 200 km alors qu'en période d'inondation elle passe à plus de 600 km. Cette analyse a donc montré qu'en période d'inondation le réseau routier va augmenter la vulnérabilité du territoire du fait de la perte d'accessibilité.

Pour évaluer cette vulnérabilité du territoire, nous nous sommes ensuite consacrées à l'élaboration d'une méthodologie basée sur outil classification multicritère, Electre III. En prenant en compte des critères tels le type de population, la zone d'aléa, l'accessibilité avant et pendant inondation, nombre d'étages d'un bâtiment et en y associant une pondération cette méthode permet d'aboutir à une hiérarchisation des enjeux majeurs et des IRIS en termes de vulnérabilité. Cette classification permet d'identifier les enjeux les plus vulnérables et donc à évacuer en priorité.

Ces analyses de vulnérabilité indirecte du réseau routier nous ont permis d'avoir une meilleure connaissance des risques encourus par les enjeux mais surtout d'établir des priorités. Ces résultats vont certes dans le même sens que ceux trouvés dans les travaux déjà réalisés dans le cadre du projet ACCEL mais concernent des enjeux à différentes échelles (enjeux ponctuels, IRIS et communes). Cette approche multi-échelle nous a permis de considérer un nombre important d'enjeux, échantillon représentatif de la réalité du territoire et donc de valider notre méthodologie. Il apparaît que le réseau routier influence grandement la hiérarchisation des enjeux en termes de vulnérabilité face aux inondations.

Pour aller plus loin dans l'exploitation des résultats, on a essayé de montrer qu'on pouvait tirer partie de la connaissance de la vulnérabilité pour protéger le territoire de l'agglomération tourangelle. A ce stade, une démarche d'optimisation intégrant les résultats trouvés précédemment et d'autres critères pertinents a été élaborée pour l'organisation de l'évacuation de la population. Sur cette base, une feuille de route a été réalisée pour l'évacuation d'un enjeu vulnérable -l'hôpital Bretonneau- par les services de secours et un plan d'évacuation préventive de la commune de Saint-Pierre-des-Corps a été ébauché.

Tout au cours de ce travail, nous avons essayé d'apporter des éléments de réponse aux questionnements, d'ébaucher des outils pour une meilleure connaissance de la vulnérabilité et une meilleure gestion de la crise en situation d'inondation. Ces réponses et ces outils ne constituent qu'une étape et les limites que nous avons rencontrées offrent autant de pistes à explorer pour l'avenir.

Les principales limites du travail résident dans le manque de données sur l'aléa d'inondation, les documents réalisés par les communes et les autres acteurs pour meilleure connaissance du risque d'inondation :

- Pour caractériser le risque d'inondation sur le territoire d'étude, nous nous sommes basées sur les aléas de l'atlas des zones inondables qui servent de base aux Plans de Prévention du Risque d'Inondation (PRRI) réalisés sur les trois principaux cours d'eau : La Loire et Le Cher et l'Indre. Ces données, les seules disponibles, sont élaborées à partir des plus hautes eaux connues pour chacun des 2 cours d'eau et ne prennent pas en compte la dynamique de l'aléa qui est à la fois brutale et difficile à anticiper en cas de rupture de digue. Le scénario le plus pertinent à utiliser serait, une modélisation de l'aléa en termes de hauteur d'eau. Toutefois, les résultats obtenus donnent un ordre de grandeur de la vulnérabilité et les démarches et outils mis en place peuvent être repris avec un autre scénario pour se rapprocher de la réalité des acteurs de terrain.

- Certaines communes disposent de Plans communaux de sauvegarde (PCS) qui décrivent l'organisation qu'elles prévoient de mettre en place en cas d'inondation. Ces documents auraient pu nous aider à évaluer les moyens disponibles sur la commune et ainsi permettre d'approfondir notre démarche d'évacuation préventive. Cela montre une fois de plus la pertinence de notre choix d'impliquer tous les acteurs, collectivités locales et l'Etat.

Au-delà des difficultés rencontrées, ce travail de recherche nous a permis d'une part nous former à la notion de risque d'inondation et d'autre part de consolider nos connaissances en matière de cartographie. Nous avons particulièrement apprécié le fait que cette étude ne soit pas uniquement à but universitaire mais ait aussi une forte résonance opérationnelle auprès des acteurs qui nous ont accordés des entretiens. Nous y voyons là, l'occasion d'apporter une base pour une meilleure gestion de crise avant, pendant et après une inondation.

BIBLIOGRAPHIE

Art de la thèse

BEAUD (Michel).- L'art de la thèse : Comment préparer et rédiger une thèse de doctorat, un mémoire de DEA ou tout autre travail universitaire.- Paris, la découverte, 1998.- 179 pages.- Collections : Guides repères

QUIVY (Raymond), VAN CAMPENHOUDT (Luc).-Manuel de recherche en sciences sociales.-Paris

Risques

CHATEAU (Cyril), DELORME (Arnaud) et DUJARDIN (Damien).- Gestion de crise en période d'inondation : Etude de l'accessibilité aux enjeux et de leur vulnérabilité – aide à l'organisation des secours.- 42 pages

Projet de fin d'études : Université Technologique de Compiègne : UV PR-P2008

CHAUVITEAU (Cyndie) et VINET (Freddy).-« La vulnérabilité des établissements recevant du public et des entreprises face aux inondations : une méthode d'analyse appliquée dans le bassin de l'Orb (Hérault) ».- Ingénieries, n° 46, 2006.-p.15-53

DESGRANGES (P.) « L'analyse des désordres et des dommages aux réseaux » in *Le coût du risque*.-Collections Presse de l'école nationale des Ponts et Chaussées, France, 1999.- pp. 149-151

DIRECTIVE 2007/60/CE du Parlement Européen et du Conseil du 23 octobre 2007 relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondation

DUCROCQ (Jessica).-Evolution de l'accessibilité en période d'inondations sur des enjeux localisés : Détermination de la vulnérabilité en termes d'accessibilité.-82 pages

Projet de fin d'études : Génie de l'aménagement.- Université de Tours : EPU-DA, 2008

ELEUTERIO (Julian), PAYRAUDEAU (Sylvain) et ROZAN (Anne).-« Sensibilité de l'évaluation des dommages associés aux inondations en fonction de la caractérisation de la vulnérabilité des bâtiments ».- Ingénieries, n° 55-56, 2008.-p.29-44

Etude EGRIAN.-Le risque d'inondation sur l'agglomération de Nevers, la formation des crues de la Loire.-2008.- 28 pages

GILBERT (Claude).- La vulnérabilité : Une notion vulnérable ? A propos des risques d'inondation.-

GLEYZE (Jean-François) et REGHEZZA (Magali). – « La vulnérabilité structurelle comme outil de compréhension des mécanismes d'endommagement ».- Géocarrefour, Vol 82 1-2, 2007.-pp 17-26

HE (Michen).- Multicritère et accessibilité, démarches intégrées de caractérisation de la vulnérabilité indirecte d'enjeux socio-économiques en périodes de crues.-64 pages

Projet de fin d'études : Génie de l'aménagement.- Université de Tours : EPU-DA, 2009

HUBERT (Gilles) et LEDOUX (Bruno).-Le coût du risque : L'évaluation des impacts socio-économiques des inondations.-Collections Presse de l'école nationale des Ponts et Chaussées, France, 1999.- pp. 45-58

LEDOUX (Bruno).-La gestion du risque d'inondation.-Lavoisier, 2006.-770 pages

MANCHE (Yannick).-Analyse spatiale et mise en place de systèmes d'information pour l'évaluation de la vulnérabilité des territoires de montagne face au risque naturel.-175 pages

Thèse de doctorat : Géographie.-Université Joseph Fourier : UFR de géographie, 2002

MANCHE (Yannick).-Propositions pour la prise en compte de la vulnérabilité dans la cartographie des risques naturels prévisibles.- Revue de géographie alpine, Volume 85, Numéro 2,1997.- pp. 49 – 62

MINISTERE DE L'ECOLOGIE, DE L'ENERGIE, DU DEVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE, « Portail de prévention des risques majeurs », in www.prim.net, 2009

MINISTERE DE L'ECOLOGIE, DE L'ENERGIE, DU DEVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE.-Quinze expériences de réduction de la vulnérabilité de l'habitat aux risques naturels : Quels enseignements.- 2006.-36 pages

MINISTERE DE L'ECOLOGIE, DE L'ENERGIE, DU DEVELOPPEMENT DURABLE ET DE LA MER, « Portail de prévention des risques », in www.developpement-durable.gouv.fr, 2009

MINISTERE DE L'ECOLOGIE, DE L'ENERGIE, DU DEVELOPPEMENT DURABLE ET DE LA MER, « Portail de prévision des crues », in www.vigicrues.ecologie.gouv.fr, 2009

POULARD (Christine), CHASTAN (Bernard), ROYET (Paul), DEGOUTTE (Gérard), GRELOT (Frédéric), ERDLENBRUCH (Katrin) et NEDELEC (Yves). – Prévention des inondations par ralentissement dynamique : principe et recommandations.- Ingénieries, numéro spécial 2009.-p.7

POULIGNIER (Gabriel).- Risque d'inondation et évolution de l'accessibilité en milieu urbain- Etudes préalables et développement d'un logiciel d'analyse multicritère.-78 pages

Projet de fin d'études : Génie de l'informatique.- Université de Tours : EPU-DI, 2008

PREFECTURE D'INDRE-ET-LOIRE, « Portail de la sécurité civile », in http://www.indre-et-loire.pref.gouv.fr/sections/votre_securite/securite_civile, 2009

PREFECTURE D'INDRE-ET-LOIRE.- Crue majeure de la Loire.- 128 pages

PREFECTURE D'INDRE-ET-LOIRE.- De la crue à l'inondation : la gestion de l'événement par les pouvoirs publics. – 36 pages

RENARD (Florent), CHAPON (Pierre-Marie).- Une méthode d'évaluation de la vulnérabilité urbaine appliquée à l'agglomération lyonnaise.-Espace géographique, n°1,2010.-pp35-50

SERRHINI K. (Sous la direction de).- Rapport Atelier « Vulnérabilité SCoT » 2010.- Atelier: Génie de l'aménagement.- Université de Tours : EPU-DA, 2010

SERRHINI K. (Sous la direction de).- Rapport Atelier Vulnérabilité Indirecte des Enjeux (VIE) 2009.-Atelier: Génie de l'aménagement.- Université de Tours : EPU-DA, 2009

Risques et réseaux techniques urbains

BAVOUX. J.J.et al. , 2005, Géographie des transports, Armand Colin, coll. U, 231 p

CERTU.- Impact des spécifications du réseau routier sur les calculs d'accessibilité.- 2006.- 41 pages

CERTU.- Réduire la vulnérabilité des réseaux urbains aux inondations.-2005.- 118 pages

CERTU.- Vulnérabilité des réseaux urbains et gestion de crise: Exemple de l'inondation de mars 2001 à Lyon et Mâcon.- Collections du CERTU, 2002.- 81 pages

CHAPELON (Laurent).- 2006.- Politiques de transport et accessibilité : contribution à la conception de réseaux et de services de transport, Habilitation à diriger des recherches, Dossier de synthèse.-263 pages

EP Loire.- Etude préalable à la réduction de la vulnérabilité des réseaux liée aux inondations en Loire Moyenne: Résultats, bilan et perspectives.- 2006.-178 pages

UNIVERSITE DE MONTREAL, « Portail du cours de transport », in <http://www.geog.umontreal.ca/Geotrans/fr/ch2fr/ch2menu.html>,2009

Optimisation et TAD

CHEVRIER (Rémy), CASTEX (Elodie), CANALDA (Philippe), CHATONNAY (Pascal), JOSSELIN (Didier).- " Un algorithme génétique pour le transport à la demande en convergence".- Revue Internationale de Géomatique, n°2, 2008.-pp. 239-265

GARAIX (Thierry), JOSSELIN (Didier), FEUILLET (Dominique), ARTIGUES (Christian), CASTEX (Elodie).- « Transport à la demande points à points en zone peu dense. Proposition de méthode d'optimisation de tournées ».- Cybergeo, sélection d'articles du colloque SAGEO 2005, Avignon, 20-23 juin 2005, France, pp.1-17

HIRIART-URRUTY (Jean-Baptiste).- L'optimisation.- presses Universitaires de France, Paris, 1996.- 127 pages

JOSSELIN (Didier) (2006), « Transport à la demande, TIC et pratique des territoires », *in Quatre ans de recherche urbaine 2001-2004*, ACI-Ville Ministère de la Recherche.- Collection Perspectives Villes et Territoires, n° 13, volume 2.- Presses Universitaires François Rabelais, MSH Villes et Territoires.- pp. 375-380

JOSSELIN (Didier), NICOT (Bernadette).- « Un modèle gravitaire géoéconomique des échanges commerciaux entre les pays de l'UE, les PECO et les PTM ».- Cybergeo, n°237, 2003.-pp 2-26

LACOMME (Philippe), PRINS (Christian), SEAVUX (Marc).-Algorithmes de graphes.- Editions Eyrolles, 2003.-411 pages

LEURENT (Fabien).- Structure de réseau et modèles de cheminement.-Editions TEC & DOC.-.2006-394 pages

MATHIS (Philippe) sous la direction.- Graphes et réseaux, modélisation multi niveau.- Editions Lavoisier, 2003.- 361 pages.-Collections Hermès Sciences.

MARMUSE (Christian).-Les aides à la décision, techniques quantitatives de gestion.- Editions Fernand Nathan, 1983.-256 pages

Multicritère

LAARIBI (Amor).- SIG et analyse multicritère.- Edition : Hermès science Publications, 2000.- 190 pages.

ROY (Bernard).- Méthodologie multicritère d'aide à la décision. – Edition Economica, 1985.- Collection : série production et techniques quantitatives appliquées à la gestion.- 423 pages

SCHÄRLIG (Alain).- Décider sur plusieurs critères : panorama de l'aide à la décision multicritère.-Edition : Presse polytechnique romandes, 1985.- 304 pages

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Schéma d'organisation du PFE.....	13
Figure 2 : Date et hauteur des plus grandes crues à Tours mesurée au Pont Wilson (1789-2003).....	20
Figure 3: Maillon élémentaire de la chaîne des risques [Blanchet, 1998].....	23
Figure 4 : Schémas d'évolution de l'accessibilité	30
Figure 5 : Procédure de classement multicritère	33
Figure 6 : Mécanisme de production du risque	37
Figure 7 : Processus de calcul de l'accessibilité en période normale et en cas de crue...	41
Figure 8 : Accessibilité des communes de l'agglomération de Tours dans différentes situations d'inondations.....	43
Figure 9 : Accessibilité au sein des IRIS de la commune de La Riche dans différentes situations d'inondations.....	47
Figure 10 : Accessibilité au sein des IRIS de la commune de Ballan-Miré dans différentes situations d'inondations.....	48
Figure 11 : Principe d'évacuation de la population utilisé pour le calcul de l'accessibilité des enjeux	50
Figure 12 : Les étapes de la démarche de l'aide à la décision.....	58
Figure 13 : Présentation de l'interface du logiciel.....	60
Figure 14 : Exemple de la fenêtre des critères	61
Figure 15 : Exemple de tableau de performance	61
Figure 16 : Exemple de résultat, préordre final	62
Figure 17 : Exemple de résultat : représentation graphique	62
Figure 18 : Résultat de classement des enjeux sans accessibilité.....	74
Figure 19 : résultat de classement des enjeux avec accessibilité.....	77
Figure 20 : résultat de classement des IRIS sans accessibilité	81
Figure 21 : résultat de classement des IRIS sans accessibilité	84
Figure 22 : Typologie des enjeux vulnérables.....	95
Figure 23 : Procédure de sélection des centres de secours	96
Figure 24 : Procédure de sélection des lieux d'accueil	98
Figure 25 : Procédure d'estimation de la population à évacuer et d'identification des zones d'accueil.....	108
Figure 26 : Procédure de mise en place des zones d'évacuation	109
Figure 27 : Classement des IRIS de Saint-Pierre-des-Corps selon leur degré de vulnérabilité.....	115

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Communes touchées par les inondations.....	17
Tableau 2 : Caractérisation des aléas d'inondation	19
Tableau 3 : Probabilité des crues.....	21
Tableau 4 : Nombre d'IRIS dans les communes de l'agglomération de Tours.....	46
Tableau 5 : Tableau récapitulatif des types d'enjeux par catégorie.....	64
Tableau 6 : Tableau récapitulatif de la vulnérabilité humaine par types d'enjeux.....	66
Tableau 7 : Tableau des pondérations par critères	69
Tableau 8 : Tableau des pondérations par critères	72
Tableau 9 : récapitulatif des enjeux avec critères des neuf premiers rangs sans accessibilité	76
Tableau 10 : Récapitulatif des enjeux avec critères des neuf premiers rangs avec accessibilité	79
Tableau 11 : Evolution du rang des enjeux entre le classement sans accessibilité et avec accessibilité	80
Tableau 12: Récapitulatif des IRIS avec critères des sept premiers rangs sans accessibilité	83
Tableau 13 : Récapitulatif des IRIS avec critères des sept premiers rangs avec accessibilité	86
Tableau 14 : Evolution du rang des IRIS entre le classement sans accessibilité et avec accessibilité	87
Tableau 15 : Services de l'enjeu vulnérable et des lieux d'accueil	100
Tableau 16 : Capacité en nombre de personnes des zones d'accueil	112
Tableau 17 : Temps de parcours minimal depuis les IRIS de Saint-Pierre-des-Corps vers les lieux d'accueil.....	114
Tableau 18 : Ordre d'évacuation des IRIS	116

LISTE DES CARTES

Carte 1 : Périmètre d'étude	16
Carte 2 : Les zones d'aléa sur le territoire.....	19
Carte 3 : Enjeux économiques sur le territoire de Tour(s) Plus.....	22
Carte 4 : Position des IRIS dans l'agglomération de Tours	46
Carte 5 : Accessibilité des enjeux depuis les postes de secours avant une inondation....	51
Carte 6 : Différence de l'accessibilité des enjeux depuis les postes de secours entre la période précédent l'inondation et l'inondation.....	52
Carte 7 : Itinéraires entre les centres de secours de Fondettes et de Tours Nord et la maison d'accueil familial de Saint-Cyr-sur-Loire.....	52
Carte 8 : Accessibilité des enjeux vers les centres d'accueil de la population avant une inondation.....	53
Carte 9 : Différence de l'accessibilité des enjeux vers les centres d'accueil de la population entre la période précédent l'inondation et l'inondation.....	53
Carte 10 : Accessibilité des IRIS depuis les postes de secours avant une inondation.....	55
Carte 11 : Différence de l'accessibilité des IRIS depuis les postes de secours entre la période précédent l'inondation et l'inondation.....	55
Carte 12 : Accessibilité des IRIS vers les centres d'accueil de la population avant une inondation.....	56
Carte 13 : Différence de l'accessibilité des IRIS vers les centres d'accueil de la population entre la période précédent l'inondation et l'inondation.....	57
Carte 14 : Localisation des enjeux.....	65
Carte 15 : Découpage en IRIS du territoire d'étude	70
Carte 16 : Isochrones 20 minutes des centres de secours	101
Carte 17 : Chemins minimaux pour l'évacuation de Bretonneau	102
Carte 18 : Tournées de véhicules pour l'évacuation de l'hôpital Bretonneau.....	103
Carte 19 : Typologie des communes	111
Carte 20 : Découpage de Saint-Pierre des Corps en IRIS	112
Carte 21 : Zones d'évacuation de la commune de Saint-Pierre-des-Corps.....	113
Carte 22 : Itinéraires d'évacuation de la commune de Saint-Pierre-des-Corps	114

TABLE DES MATIERES

AVERTISSEMENT	4
FORMATION PAR LA RECHERCHE ET PROJET DE FIN D'ETUDES	5
REMERCIEMENTS.....	6
PREAMBULE	7
SOMMAIRE.....	8
INTRODUCTION.....	11
PARTIE 1 : L'ETAT DES LIEUX.....	15
1. Le territoire d'étude, à la croisée d'enjeux majeurs et d'une zone inondable.	16
11. La description du Val de Tours	16
12. Le périmètre d'étude au sein du Val de Tours	16
2. De la notion d'aléa à celle de risque d'inondation.....	18
21. L'aléa un phénomène naturel et imprévisible	18
L'aléa d'inondation sur le périmètre d'étude	18
22. La vulnérabilité, définie par les enjeux présents et leurs caractéristiques	21
Les enjeux, cibles de l'aléa	21
a) Les dommages causés aux enjeux par l'aléa	22
b) La vulnérabilité, sensibilité de l'aléa	23
23. Qu'est ce que le risque ?	24
a) La définition du dictionnaire.....	24
b) La caractérisation usuelle du risque	24
c) Le risque d'inondation	24
24. La prise en compte règlementaire du risque.....	26
a) L'approche globale : une nécessité	26
b) L'approche intégrée : fruit de expériences du passé	26
La prévention	27
La prévision	28
La culture du risque	28
3. La vulnérabilité du réseau de transport routier.....	29
31. De l'importance des réseaux routiers dans l'étude des risques menaçant un territoire	29
32. Le réseau de transport routier mode d'accès d'un territoire	29
33. La vulnérabilité du réseau de transport routier.....	30
4. L'analyse des travaux existants.....	32
41. « L'évolution de l'accessibilité en période d'inondations sur des enjeux localisés : Détermination de la vulnérabilité en termes d'accessibilité » Projet de fin d'études de J. DUCROCQ	32
Le territoire d'étude	32

Objectifs.....	32
La méthode de travail : croisement de bases de données et enrichissement du multicritère	32
42. « La gestion de crise en période d'inondation : étude de l'accessibilité aux enjeux et de leur vulnérabilité » Projet de fin d'études à l'UTC.....	34
43. « Multicritère et accessibilité, démarches intégrées de caractérisation de la vulnérabilité indirecte d'enjeux socio-économiques en période de crue » Projet de fin d'études de Michen HE	35
Le calcul de l'accessibilité	35
Critiques.....	36
5. Synthèse	37

PARTIE 2 : VERS UNE CONNAISSANCE DE LA VULNERABILITE DU TERRITOIRE 39

1. L'accessibilité, un critère de la vulnérabilité	40
11. Des accessibilités différentes pour les communes de l'agglomération de Tours.....	42
a) L'accessibilité des communes vue de façon globale.....	43
b) L'accessibilité au sein des communes, vue de façon globale.....	45
12. Des accessibilités variables en fonction des enjeux	48
a) L'accessibilité des enjeux prioritaires.....	50
b) L'accessibilité des IRIS pour diriger l'évacuation de la population.	54
2. Hiérarchisation des enjeux et des IRIS à évacuer, approche multicritère	58
21. ELECTRE III	59
a) La méthode ELECTRE III.....	59
b) Présentation du logiciel.....	60
22. Construction des critères, des performances et des pondérations.....	63
Cas des enjeux prioritaire à population vulnérable	63
a) Sélection des enjeux prioritaires	63
b) Les critères et leurs performances et sens de préférences.....	65
c) Les pondérations.....	68
Cas des IRIS pour l'évacuation de toute la population	69
a) Les critères et leurs performances et sens de préférences.....	70
b) Les pondérations.....	72
23. Les résultats de l'utilisation d'ELECTRE III.....	74
Cas des enjeux	74
a) Le classement des enjeux prioritaires sans notion d'accessibilité.....	74
b) Le classement des enjeux prioritaires avec notion d'accessibilité.	77
c) Comparaison des résultats.....	80
Cas des IRIS.....	81
a) Le classement des IRIS sans notion d'accessibilité.	81
b) Le classement des IRIS avec notion d'accessibilité.....	84
c) Comparaison des résultats.....	87
Conclusion	88
3. Synthèse	89

PARTIE 3 : L'EVACUATION PREVENTIVE DE LA POPULATION 91

1. Une approche d'optimisation pour une meilleure gestion de la crise	92
11. Les graphes et la recherche opérationnelle au service de l'évacuation préventive de la population.....	92
2. Evacuation des enjeux vulnérables	94

21.	Formalisation théorique du problème d'optimisation	94
	Description des données	94
	Outils utilisés	94
22.	Démarche	94
	Idée générale	94
	Description de la démarche.....	95
	a) Etape 1 : Identification des enjeux vulnérables.....	95
	b) Etape 2 : Identification des centres de secours intervenant dans l'évacuation des enjeux vulnérables	95
	c) Etape 3 : Identification des lieux d'accueil des enjeux vulnérables.....	97
	d) Etape 4 : Elaboration des feuilles de routes	99
23.	Cas d'étude.....	99
	Résultats et analyse	100
24.	Limite	104
3.	Evacuation préventive de la population (hors enjeux vulnérables)	106
31.	Formalisation théorique du problème d'optimisation	106
	Description des données	106
	Outils utilisés	106
32.	Démarche	106
	Idée générale	106
	Description de la démarche.....	107
	a) Etape 1 : Estimation de la population à évacuer et localisation des zones d'accueil 107	
	b) Etape 2 : Localisation des zones d'évacuation.....	108
	c) Etape 3 : Elaboration du plan d'évacuation	110
33.	Cas d'étude.....	110
	Résultats et analyse	110
34.	Limites	116
4.	Une démarche qui vise à optimiser l'organisation de l'évacuation.....	117
	CONCLUSION.....	118
	BIBLIOGRAPHIE	120
	Art de la thèse	120
	Risques.....	120
	Risques et réseaux techniques urbains	122
	Optimisation et TAD.....	123
	Multicritère	124
	LISTE DES FIGURES	125
	LISTE DES TABLEAUX.....	126
	LISTE DES CARTES	127
	LISTE DES CARTES	127
	TABLE DES MATIERES	128
	ANNEXES.....	131

