



POLYTECH[®]
TOURS

Département Aménagement



Ecole d'ingénieurs
polytechnique
de l'université de Tours

CITERES

UMR 6173

Cités, Territoires,

Environnement et Sociétés

Equipe IPA-PE

Ingénierie du Projet

d'Aménagement, Paysage,

Environnement

Projet de Fin d'Etudes

VULNÉRABILITÉ COMPARÉE DE TERRITOIRES FACE À DIFFERENTS ALÉAS D'INONDATION :

***Aléa lent pour Orléans et rapide pour
Saint-Étienne***



***AUCHER Gwendoline
CHENUET Romain***

2012-2013

Directeurs de recherche

ANDRIEU Dominique

SERRHINI Kamal

PALKA Gaëtan

**VULNÉRABILITÉ COMPARÉE DE
TERRITOIRES FACE À DIFFERENTS
ALÉAS D'INONDATION :
Aléa lent pour Orléans et rapide pour
Saint-Étienne**

2012-2013

Directeurs de recherche :
ANDRIEU Dominique
SERRHINI Kamal
PALKA Gaëtan

Auteurs :
AUCHER Gwendoline
CHENUET Romain

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.

Les auteurs de cette recherche ont signé une attestation sur l'honneur de non plagiat.

FORMATION PAR LA RECHERCHE ET PROJET DE FIN D'ETUDES EN GÉNIE DE L'AMÉNAGEMENT

La formation au génie de l'aménagement, assurée par le département aménagement de l'École 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 de 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 toute ou 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.

Afin de valoriser ce travail de recherche nous avons décidé de mettre en ligne les mémoires à partir de la mention bien.

REMERCIEMENTS

Tout au long de notre projet, nous avons pu bénéficier de l'aide précieuse de nombreuses personnes que nous tenons donc à remercier.

En premier lieu, nous adressons nos remerciements à nos tuteurs Dominique Andrieu, Kamal Serrhini et Gaëtan Palka.

Nous remercions ensuite l'équipe de CEMORAL et de l'école des Mines de Saint-Étienne qui nous ont accueillis durant une de leur réunion d'avancement du projet.

Grâce à toutes ces personnes et leur aide, nous avons pu nous servir d'outils importants au bon déroulement du projet et bénéficier d'un environnement de travail optimal.

SOMMAIRE

Introduction.....	13
I. Les territoires d'études	15
1. Crues de référence pour Orléans et Saint-Étienne	20
2. Historique des crues sur Orléans et Saint-Étienne.....	20
3. Orléans	20
4. Saint-Étienne	20
5. Conclusion	21
II. État de l'art, précision des concepts utilisés	25
1. Deux définitions de la vulnérabilité.....	25
2. Une lente émergence de la vulnérabilité	25
3. Méthodes d'évaluation des vulnérabilités	27
III. Résultats	31
1. Démarche de calcul de l'indice de vulnérabilité	31
a. Zone de calcul de la vulnérabilité : croisement IRIS/zone d'aléa	31
b. Caractéristiques de l'aléa d'inondation.....	31
c. Recensement des enjeux.....	35
d. Méthodologie	36
2. Importance de la population en zone inondable	38
3. Importance des entreprises en zone inondable.....	39
4. Importance des emplois en zone inondable	40
5. Importance du bâti en zone inondable	41
6. Variation des paramètres.....	42
Limites de la démarche	43
Conclusion	43
Table des illustrations.....	45
Bibliographie.....	47
IV. Annexes	49
1. Définitions	49
2. Les grandes crues du Val d'Orléans.....	50
3. Liste des communes des territoires d'étude.....	50
a. Orléans	50
b. Saint-Étienne	50

Introduction

Ce projet de fin d'études s'intègre au projet CEMORAL (Conscience, Evaluation et Mise en œuvre des Outils de prévention du Risque d'inondation, Application au bassin de la Loire), qui a débuté en octobre 2011 et s'est achevé cette année. Il est actuellement en cours de rédaction. Il fait suite au projet Méthodoloire, qui traitait du développement d'une méthodologie de mise en perspective des dommages économiques à l'échelle du bassin fluvial de la Loire et de ses affluents suite à des inondations.

Le projet CEMORAL a pour objectif principal de comprendre et d'évaluer la mise en œuvre des outils destinés à l'action publique afin de réduire la vulnérabilité liée aux inondations sur le bassin de la Loire. Il est centré sur la vulnérabilité, mais examine également l'articulation avec la notion de résilience ou de résistance des villes face à des risques naturels dont l'ampleur n'a jamais été aussi forte ces dernières années. Trois villes du bassin de la Loire sont étudiées : Nantes, Orléans et Saint-Étienne. Ce projet se découpe en six tâches, notre travail s'intègre dans la tâche 3 dont l'objectif est d'étudier les critères socio-économiques afin d'aboutir à la définition d'indicateurs de vulnérabilité pour les différents sites d'études, le tout étant destiné aux gestionnaires des risques d'inondation.

Nos territoires d'études sont Orléans et Saint-Étienne, Nantes a été écarté dès le début de notre projet de comparaison de territoires pour deux raisons :

- il n'existe pas de PRRI sur la Loire dans la traversée de Nantes
- l'hydrologie de la Loire y est soumise à une influence maritime, contrairement aux deux autres territoires.

Nous considérons donc le bassin-versant de la Loire avec deux villes : Orléans et Saint-Étienne possédant des caractéristiques socio-économiques, géographiques, urbanistiques, environnementales différentes. Ces deux territoires sont distincts puisque Orléans est en pente faible sur cette partie du fleuve alors que le site de Saint-Étienne est vallonné et traversé par le Furan (presque intégralement recouvert en centre-ville) qui se jette dans la Loire en aval de la ville. Orléans est soumis à un aléa d'inondation lent (nécessitant une évacuation) par débordement de la Loire au dessus des digues, cependant, une rupture de digue pourrait modifier les caractéristiques de cet aléa qui deviendrait alors rapide. Quant à Saint-Étienne, sa topographie rend propice l'écoulement torrentiel de fortes précipitations et une montée des eaux rapide, ce qui est défini comme un aléa rapide. D'autre part, la cinétique de l'aléa (lent ou rapide) entraîne des conséquences différentes pour ceux-ci. Si à Orléans, des mesures préventives couplées à la prévision semblent possibles, elles sont en revanche plus difficiles à mettre en œuvre à Saint-Étienne compte tenu de la rapidité du phénomène.

Un aléa de type lent (Orléans) n'est pas forcément moins impactant en termes de dommages sur un territoire qu'un aléa rapide. En effet, les conséquences d'une inondation pourraient être plus dévastatrices économiquement dans le cas d'une catastrophe étendue sur plusieurs jours contrairement à un aléa rapide durant quelques heures par exemple. D'autre part la vitesse d'écoulement, dans le cas d'un aléa rapide, implique d'autres conséquences, potentiellement plus dévastatrices en termes de pertes humaines notamment.

Par conséquent, les problèmes auquel nous souhaitons apporter des réponses sont les suivants :

Quel est l'aléa le plus impactant sur des enjeux donnés ?

Comment avoir une démarche comparative sur deux sites hétérogènes exposés à deux aléas différents ?

Ainsi, le but de ce PFE réside dans le développement d'une démarche et d'un outil afin de comparer la vulnérabilité face à l'inondation de deux territoires en apparence hétérogènes. Cette comparaison pourrait aboutir à une meilleure gestion du risque inondation en termes de déploiement des moyens à l'échelle d'un bassin versant ou d'une zone de défense. En effet, que se passerait-il en cas de catastrophe majeure de la Loire à l'échelle du bassin versant : le nord de la France voir de l'Europe serait-il isolé du sud ?

Afin de comparer les vulnérabilités de ces deux territoires, il faudra se baser sur une méthode visant à choisir des secteurs particuliers (démographie, et économie dans notre cas) à traiter grâce à des indicateurs définis auparavant. De même, il sera intéressant de sortir d'une approche sectorielle et de tendre vers une approche systémique à travers l'analyse de liens entre les différentes composantes de la vulnérabilité.

Nous allons donc étudier durant ce projet les aspects liés à la vulnérabilité directe face à l'inondation d'indicateurs socio-économiques. Nous avons volontairement délaissé la vulnérabilité indirecte qui est traité par Romain FIET et Étienne VALLAT dans un autre projet sur la vulnérabilité indirecte face aux inondations et en particulier sur l'accessibilité domicile-travail.

Notre hypothèse de départ est que la surface inondable n'est pas la seule possibilité d'entrée pour estimer la vulnérabilité d'enjeux face à un aléa d'inondation.

Pour cela nous avons étudié les caractéristiques propres à nos deux terrains d'études et effectué un état de l'art sur la vulnérabilité et la sensibilité à l'aléa d'inondation pour finir sur une comparaison de la vulnérabilité de ces territoires, et la démarche à laquelle nous avons abouti.

I. Les territoires d'études

Orléans

A 135 kilomètres au sud-ouest de Paris, Orléans est traversée d'est en ouest par la Loire et fait partie du site du « Val de Loire de Chalonnes à Sully-sur-Loire » (85 394 habitants), classé au patrimoine mondial de l'humanité par l'UNESCO en 2000.

Saint-Étienne

Situé à 60 kilomètres du centre de l'agglomération lyonnaise, Saint-Étienne constitue la ville majeure de l'agglomération Saint-Étienne Métropole en termes de population, d'économie (2^{ème} réseau de France de PME-PMI, après l'Île-de-France), de commerces et dans bien d'autres secteurs.



Figure 1 : Présentation des territoires

Source : Projet CEMORAL

	Orléans	Agglo Orléans (22 communes)	Saint-Étienne	St-E Metropole (45 communes)
Population (INSEE 2010)	114 167	272 000	171 260	388 521
Population en zone inondable (ZI)	21 338 (18,7%)	52 159	19 615 (11,45%)	20 393
Surface (km ²)	27,6	335,3	79,1	613,8
Surface de la ZI (km ²)	8,45	78	2,1	6,8
Densité (hab/km ²)	4 136,5	811,2	2 160,1	633
Nombre d'entreprise	9 458	25 371	19 986	35 048
Nombre d'entreprise en ZI	1 404 (14,8%)	3 086	4863 (24,3%)	5 087
Nombre d'emplois	180 530	357 370	248 555	365 876
Nombre d'emplois en ZI	20 695	50 130	66 710	77 425

Tableau 1 : Récapitulatif des données administratives des sites d'études

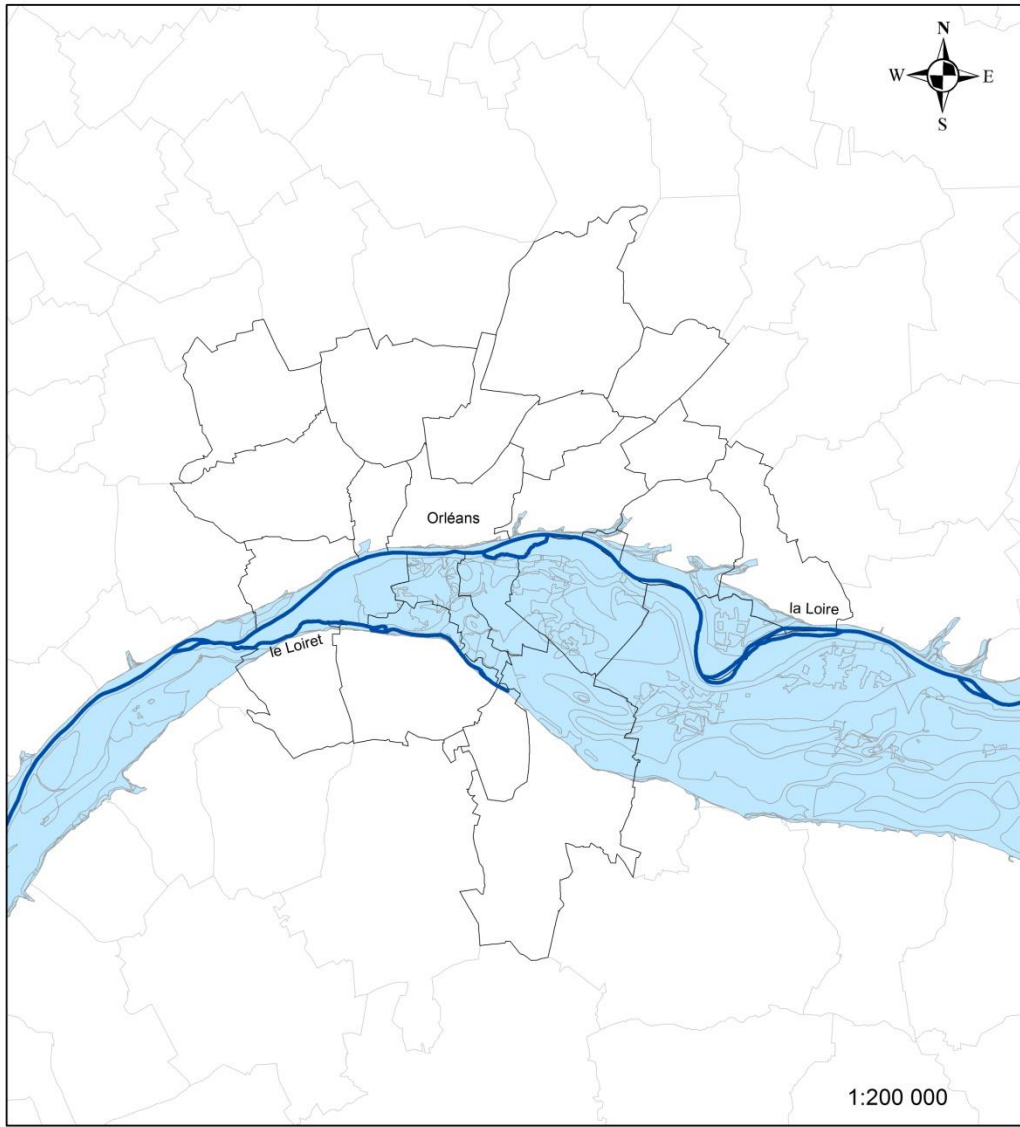
Sources : INSEE 2010, BD TOPO®, CEMORAL

Hydrographiquement, le Val d'Orléans compte deux principaux cours d'eau. D'une part la Loire qui traverse Orléans d'est en ouest. D'autre part, le Loiret, résurgence de la Loire de 12 km de long situé au sud d'Orléans. Il est constitué d'une partie des eaux de la Loire qui rejaillissent dans le parc Floral de La Source après avoir cheminé de manière souterraine ainsi que des eaux de la Dhuy (affluent du Loiret). La zone implantée entre ces deux cours d'eau est classée en zone inondable. Malgré cela, elle est fortement urbanisée et s'étale sur trois communes (Orléans, Olivet et Saint-Pryvé-Saint-Mesmin).

Au contraire d'Orléans, Saint-Étienne n'est pas traversé par la Loire mais est soumis au régime naturel de trois cours d'eau : Le Janon, L'Onzon, et Le Furan.

Ce dernier, traverse Saint-Étienne en son centre-ville du sud au nord et est couvert dans son intégralité au sein de la commune (sur 7 kilomètres). Alimenté par de nombreux affluents, il se jette dans la Loire à Andrézieux-Bouthéon (au nord-est de Saint-Étienne).

Hydrographie et extension d'une crue centennale sur l'agglomération orléanaise

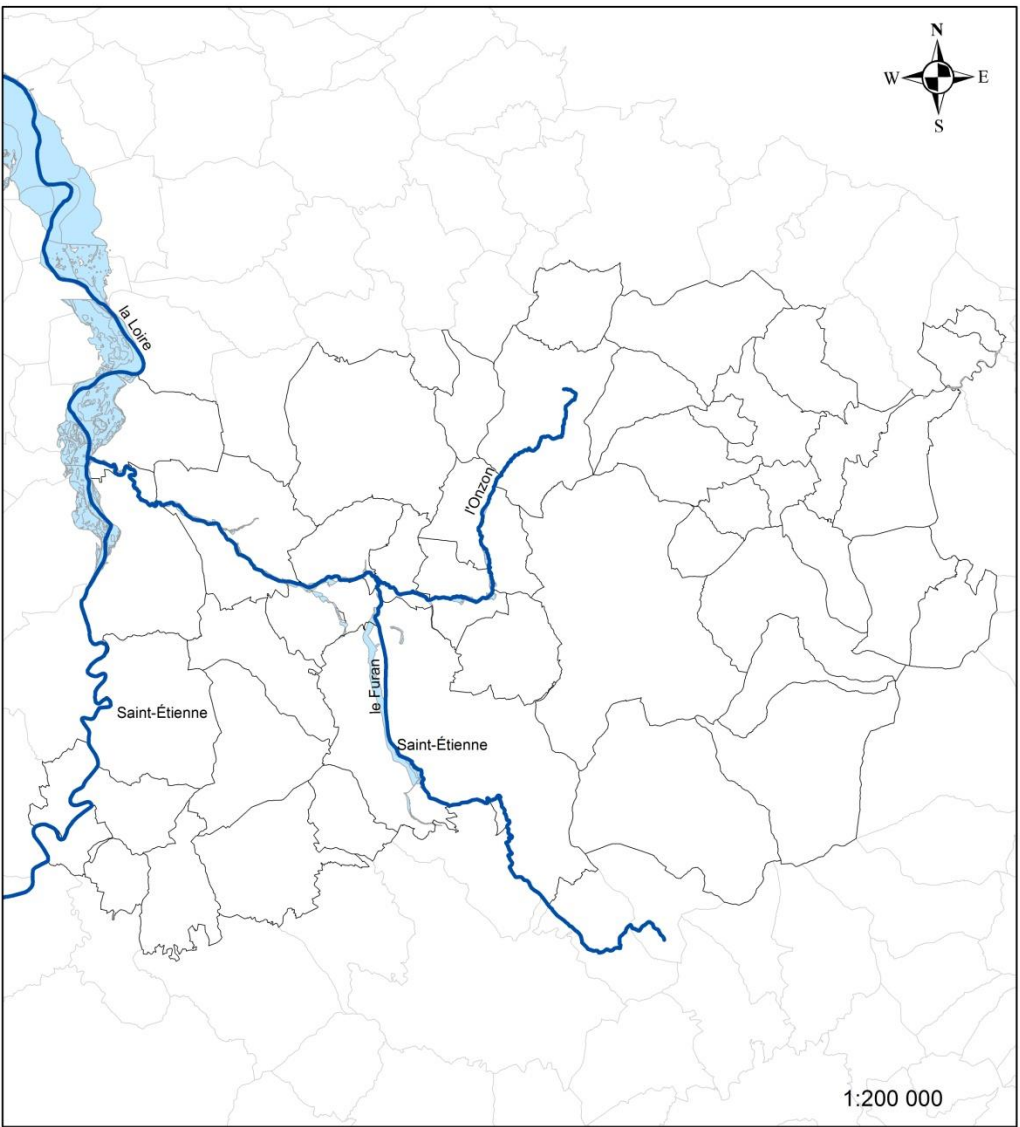


Sources : BD TOPO®, BD GASPARD®
Réalisation : AUCHER, CHENUET, 24.04.2013, EPU DA

- Principaux cours d'eau
- Synthèse régionale des aléas d'inondation
- Communes de l'agglomération orléanaise
- Communes du département du Loiret (45)

Figure 2 : Hydrographie et extension de crue à Orléans

Hydrographie et extension d'une crue centennale sur l'agglomération stéphanoise



Sources : BD TOPO®, BD CARTHAGE®, BD GASPARD®
Réalisation : AUCHER, CHENUET, 24.04.2013, EPU DA

- Principaux cours d'eau
- Synthèse régionale des aléas d'inondation
- Communes de l'agglomération Saint-Etienne Métropole
- Communes du département de la Loire (42)

Figure 3 : Hydrographie et extension de crue à Saint-Étienne

Historiquement, la ville d'Orléans s'est développée de part et d'autre de la Loire. Ainsi, au nord de la Loire (rive droite), on trouve le centre-ville d'Orléans regroupant notamment commerces et bâtiments administratifs sur une petite butte (102 mètres d'altitude au niveau du pont Georges V et 110 à la place du Martroi : cœur du centre-ville d'Orléans). Inversement, le sud de la Loire (rive gauche) présente une légère dépression entre la Loire et le Loiret (résurgence de la Loire) dans le quartier de Saint-Marceau (95 mètres d'altitude). Ce secteur essentiellement résidentiel est situé dans le lit majeur de la Loire et est donc classé en zone inondable.

De même, la ville de Saint-Étienne s'est également développée de part et d'autre du Furan. Avant le XIX^{ème} siècle, Saint-Étienne, en plein développement industriel a vu des entreprises et usines s'implanter le long du Furan afin de profiter des eaux de la rivière. A la suite des inondations dans les années 1830, la préfecture a interdit toute implantation d'usines le long du Furan sur la ville de Saint-Étienne. Cette mesure, fut suivie en 1849 d'un nouvel arrêté (suite à la crue de 1849) prohibant l'installation d'usines aux abords du Furan tout au long du cours d'eau et pas seulement sur la commune de Saint-Étienne.

Chaque territoire étant unique, chacun possède ses propres dispositifs pour lutter contre les inondations. Nous avons synthétisé ci-dessous les dispositifs mis en place pour chaque site d'étude afin de lutter contre ce risque.

	Orléans	Saint-Étienne
Dispositifs mis en place pour lutter contre les inondations	<u>La prévision</u> : prévisions de l'ordre de 48h par le réseau de surveillance CRISTAL de la Loire. <u>La prévention</u> : mise en place d'un PPRI et d'un DICRIM. <u>La protection</u> : aménagements de la Loire assurant la protection des biens, des personnes et des activités (déversoirs, levées, barrages en amont...).	<u>La prévision</u> : système d'alerte SAPHYRAS sur le Furan et deux autres cours d'eau. <u>La prévention</u> : mise en place d'un PPRNPI et d'un DICRIM interactif. <u>Information et sensibilisation</u> : développement d'une culture du risque inondation par des interventions dans des écoles voisines du Furan notamment.

Tableau 2 : Comparaison des dispositifs de lutte contre les inondations

Source : DICRIM

Territoire d'étude	Orléans	Saint-Étienne
Type d'inondation		
Débordement direct	✓	✗
Débordement indirect	✓	✗
Destruction de levées	✓	✗
Ruissellement et accumulation dans les points bas	✓	✓
Crue torrentielle	✗	✓

Tableau 3 : Comparaison des types d'inondation

Source : DICRIM

1. Crues de référence pour Orléans et Saint-Étienne

	Orléans	Saint-Étienne
Crue de référence	1856	1837
Durée de la crue (en heures)	20	2
Débit du fleuve/cours d'eau avant et pendant la crue (m ³ /s)	350 → 7 100	0,7 → 75

Tableau 4 : Crues de référence des sites d'étude

Source : DICRIM

2. Historique des crues sur Orléans et Saint-Étienne

Crue historique à Orléans	Fréquence	Crue historique à Saint-Étienne	Fréquence
1846	centennale	1837	centennale
1856	centennale	1849	centennale
1866	centennale	1994	/
1907	centennale	2003	/

Tableau 5 : Historique des dates de crue des sites d'étude

Source : DICRIM

3. Orléans

La Loire est un fleuve relativement calme depuis la fin du XIX^e siècle. On déplore au XIX^e siècle trois crues majeures et catastrophiques sur une période de vingt ans ayant inondé la quasi-totalité du Val d'Orléans (1846, 1856 et 1866). Les débits constatés à Gien (environ 60 km en amont d'Orléans) pour ces différentes crues ainsi que les hauteurs d'eau maximales à Orléans sont détaillés en annexe Tableau 23.

Depuis le début du XX^e siècle et la crue de 1907 (beaucoup moins importante que celles du XIX^e siècle), aucune crue exceptionnelle n'a été enregistrée, le risque de crue a peu à peu disparu. Toutefois on peut citer trois crues récentes, de moindre envergure, de fréquence décennale voire vingtennale, ce sont les crues de Septembre 1980, Janvier 1982 et Décembre 2003 rappelant aux habitants que le risque de crue est toujours présent sur le territoire orléanais.

4. Saint-Étienne

Tout comme sur Orléans, les principales crues du Furan ont eu lieu au XIX^e siècle. La première (prise comme crue de référence) à avoir impactée la commune de Saint-Étienne et ses environs est celle de 1837 (crue du Furan et du Furet). En seulement deux heures, le débit du Furan passa de 0,7 mètres-cubes d'eau par seconde à 75 m³/s. Vingt personnes furent emportées et des centaines de personnes se retrouvèrent sans abri. La seconde s'est produite en 1849 et a eu comme conséquence le décès de onze personnes et la destruction d'une grande partie des boutiques et magasins implantés le long de la rue principale du centre-ville et des rues parallèles.

Plus récemment, en août 1994, le niveau d'eau dans le lit du Furan est monté de 2,50 mètres en 15 minutes. Enfin, La dernière crue importante du Furan eut lieu fin 2003.

Trois facteurs expliquent ce phénomène de crue sur Saint-Étienne: les fortes précipitations, la forte pente liée au relief vallonné et enfin, un sol urbain (goudron et béton) qui favorise le ruissellement et empêche les infiltrations. Les habitants, qui ne voient plus le Furan, puisqu'il est couvert en centre-ville, n'ont pas toujours conscience de son existence mais ont pu lors des dernières crues se souvenir du risque qu'il peut représenter.

5. Conclusion

A travers cette brève présentation de nos deux territoires d'études (Orléans et Saint-Étienne), nous pouvons donc voir que ces deux sites sont grandement différents. Premièrement, d'un point de vue démographique, malgré une population plus importante sur la commune de Saint-Étienne, on constate, que le nombre d'habitants concernés par le risque de crue sur le site d'étude orléanais est largement supérieur (52 000 contre 20 000) et cela malgré une densité plus importante en zone inondable à Saint-Étienne qu'à Orléans. Ceci s'explique, par l'étendue de crue massive sur Orléans contrairement à celle de Saint-Étienne qui est une étendue de crue filaire.

Deuxièmement, économiquement, Saint-Étienne Métropole représentant le second réseau de PME et PMI et malgré l'extension de crue minimale à Saint-Étienne, le site stéphanois se compose d'un nombre d'entreprises nettement supérieur au site orléanais, qui est essentiellement résidentiel dans sa zone inondable.

(Données SIG)

	St Étienne	St Étienne Métropole (45 communes)	St Étienne (site d'étude 8 communes)
Population	172 696	388 932	205 586
Population en zone inondable (ZI)	19 615	20 393	20 393
Surface (km ²)	79,9	613,8	144,36
Surface en ZI (km ²)	2,1	6,8	3,7
Densité (hab/km ²)	216,4	633,6	1424,1
Densité en zone inondable (hab/km ²)	9 340,5	2 999	5 511

Tableau 6 : Données administratives pour Saint-Étienne

Sources : BD TOPO ®, CEMORAL

(Données SIG)

	Orléans	Agglomération Orléans (22 communes)	Orléans (site d'étude : 14 communes)
Population	113 257	269 163	217 015
Population en zone inondable (ZI)	21 338	59	52 159
Surface (km ²)	27,6	335,3	212,1
Surface en ZI (km ²)	8,5	78	78
Densité (hab/km ²)	4 103,5	802,7	1 023,2
Densité en zone inondable (hab/km ²)	2510,3	668,7	668,7

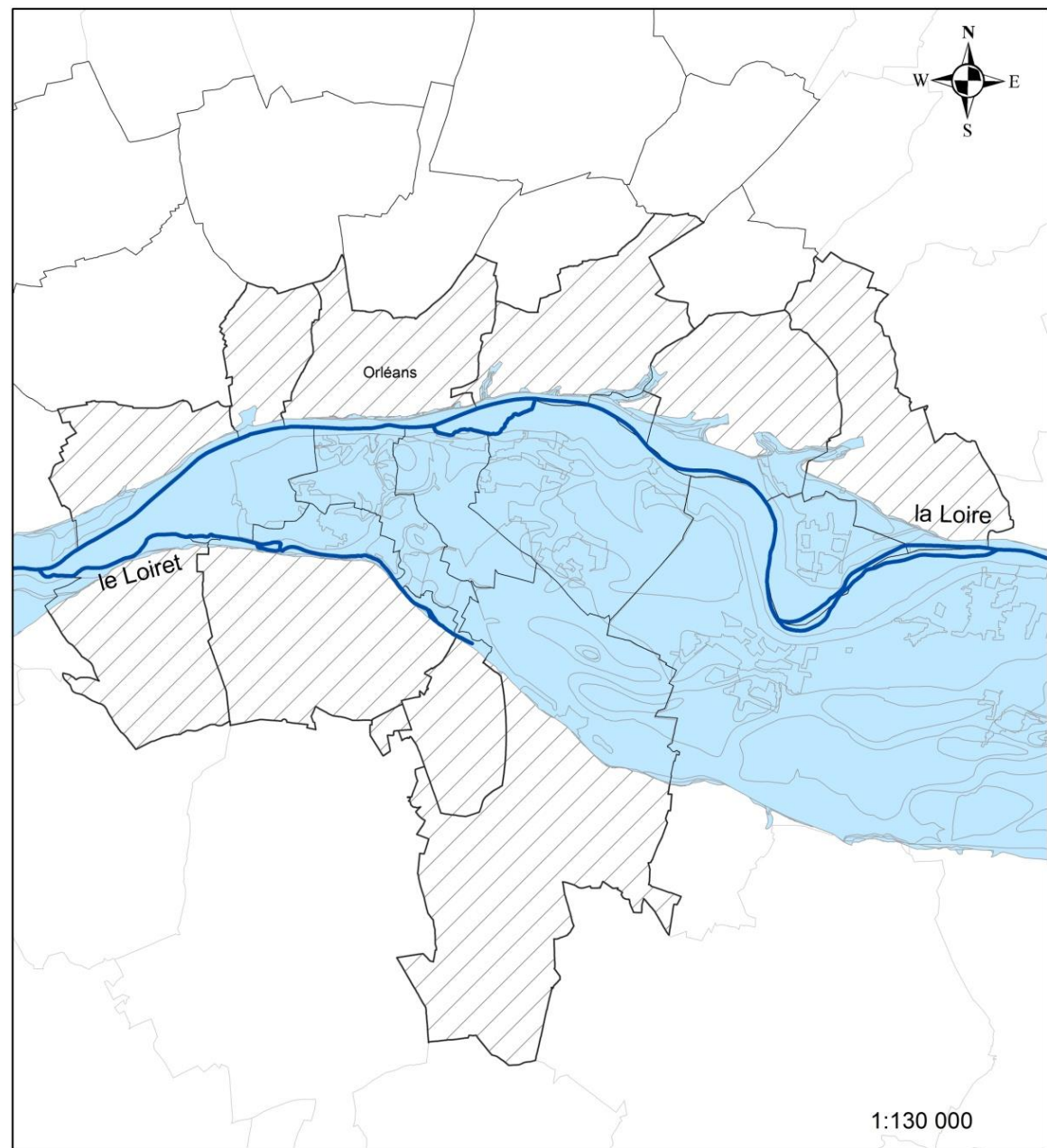
Tableau 7 : Données administratives pour Orléans

Sources : BD TOPO ®, CEMORAL

Aux premiers abords, le site orléanais semble plus vulnérable du fait de l'importance de la population en zone inondable (52 159 contre 20 002 habitants) et de son étendue de crue plus vaste (78 km² contre 3,7 km² pour Saint-Étienne). Cependant, lorsque l'on observe la densité sur nos deux territoires d'étude en zone inondable, on remarque qu'elle est beaucoup plus importante sur Saint-Étienne (5 511 hab/km² contre 668,7 hab/km² à Orléans). En effet, malgré le fait qu'il y ait 2,5 fois plus d'habitants en zone inondable à Orléans qu'à Saint-Étienne, en rapportant cette population à l'étendue de la zone inondable (de l'ordre de 20 fois plus importante à Orléans), on obtient une densité nettement supérieure à Saint-Étienne et donc une concentration de la population plus importante en zone inondable.

Au vue de cette présentation des territoires et des données disponibles sur chaque site d'étude, nous avons décidé de fixer notre terrain d'étude (sur lequel nous allons appliquer notre démarche de calcul de la vulnérabilité) sur les communes membres de leur communauté d'agglomération respective (agglomérations Orléans Val de Loire et Saint-Étienne Métropole) et pouvant subir une inondation basé sur la crue de référence. Enfin, nous n'avons pris en compte que les communes répondantes aux deux exigences précédentes et étant découpées en IRIS (nous permettant de fractionner le territoire communal).

Présentation de l'échelle d'étude sur l'agglomération orléanaise

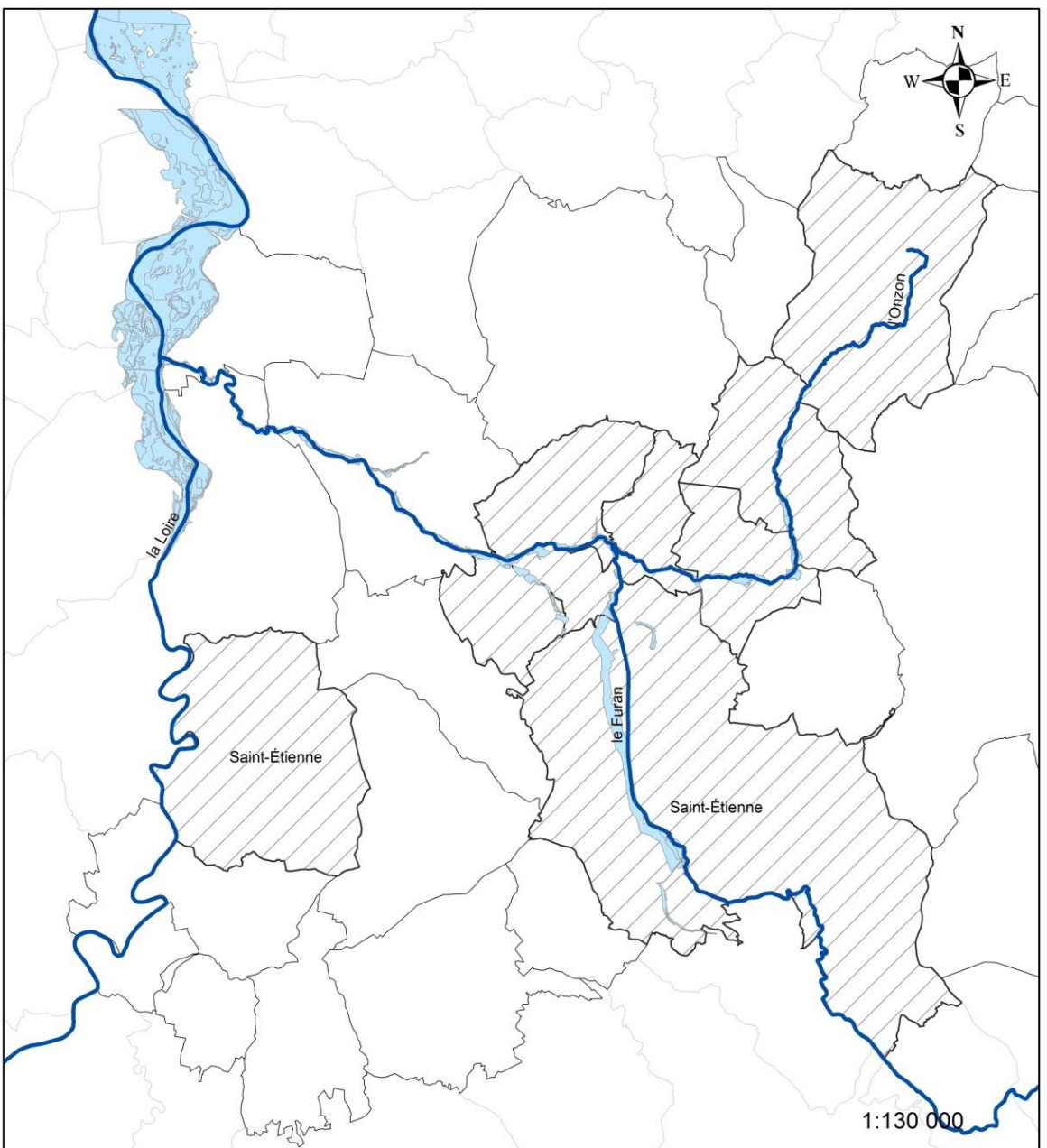


Sources : BD TOPO®, BD GASPARD®
Réalisation : AUCHER, CHENUET, 24.04.2013, EPU DA

- Principaux cours d'eau
- Synthèse régionale des aléas d'inondation
- Communes de l'agglomération soumises à une crue centennale de la Loire et étant découpée en IRIS
- Communes de l'agglomération orléanaise
- Communes du département du Loiret (45)

Figure 4 : Présentation de l'échelle d'étude à Orléans

Présentation de l'échelle d'étude sur l'agglomération stéphanoise



Sources : BD TOPO®, BD CARTHAGE®, BD GASPARD®
Réalisation : AUCHER, CHENUET, 24.04.2013, EPU DA

- Principaux cours d'eau (BD CARTHAGE®)
- Synthèse régionale des aléas d'inondation
- Communes de l'agglomération Saint-Etienne Métropole
- Communes de l'agglomération soumises à une crue centennale du Furan et étant découpée en IRIS
- Communes du département de la Loire (42)

Figure 5 : Présentation de l'échelle d'étude à Saint-Étienne

II. État de l'art, précision des concepts utilisés

1. Deux définitions de la vulnérabilité

La vulnérabilité est littéralement le fait qu'une personne ou un bien soit exposé à des atteintes, des blessures (Larousse, 2012). Cette première définition se rapproche de celle du guide général des Plans de prévention des risques naturels prévisibles (PPR) de 1997 du ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement : « *La vulnérabilité au sens le plus large, exprime le niveau de conséquences prévisibles d'un phénomène naturel sur les enjeux.* ». Les enjeux cités ici sont les personnes et les biens. Il s'agit donc pour un aléa d'intensité donnée d'estimer les dommages subis par les hommes et leurs biens (vulnérabilité matérielle, structurelle) et l'immatériel (vulnérabilité non structurelle : interactions des personnes au sein de la société par exemple) à travers le temps et l'espace. Cette démarche est analytique car les enjeux peuvent être décomposés plus ou moins finement.

Cependant, l'approche de la vulnérabilité par cette définition ne permet pas de prendre en compte divers aspects tels que les dommages économiques (perte de revenus, perte de marchés), et sociaux. « C'est pourquoi des sociologues et des géographes, notamment anglo-saxons (cf FABIANI J.L., THEYS J., 1987 ; ALEXANDER D., 1993), ont élargi la notion de vulnérabilité à l'ensemble des modalités d'atteinte et de réaction d'une société face à un ou des aléas. » (Hugonie, 2006). Dès lors, les dommages causés ne dépendent plus seulement de l'intensité de l'aléa mais également des aménagements mis en place afin de lutter contre l'aléa, des populations concernées (information, organisation), des capacités du territoire à rétablir son bon fonctionnement (résilience). Cette nouvelle vulnérabilité semble prendre en compte la vulnérabilité des sociétés à travers leur capacité de réponse à des crises potentielles (D'ERCOLES, 1994). Ainsi, plus un système est apte à se rétablir après une catastrophe, moins il est vulnérable (DAUPHINE, 2001). Cette vulnérabilité peut quand à elle être qualifiée de synthétique car elle exprime la vulnérabilité globale d'une société face à un aléa. Cependant, elle est difficile à quantifier car elle implique l'ensemble de la société et de son fonctionnement.

2. Une lente émergence de la vulnérabilité

La vulnérabilité est un terme polysémique. La multitude de définitions suivant les auteurs et les acteurs engendre des divergences dans la gestion du risque selon les territoires. La pluralité de ces définitions montre différents aspects de vulnérabilité.

Le risque résultant de la conjonction entre l'aléa et la vulnérabilité fut historiquement approché exclusivement par l'aléa. « La focalisation sur l'aléa justifie que la première réponse au risque ait été la protection, moyen de réduire la vulnérabilité, c'est-à-dire l'endommagement que la société est susceptible de subir. » (VEYRET Y., REGHEZZA M., 2006). La protection se fit par le biais d'aménagements (barrages-réservoirs, aménagement des lits des cours d'eau, etc.) destinés à diminuer l'intensité de l'aléa.

C'est ainsi, que l'aléa a été identifié par plusieurs chercheurs comme la probabilité d'occurrence d'un phénomène en un lieu et à un instant donné (Dauphine, 2001 ; Picon et al, 2005; Lindley et al, 2006).

Il représente une menace pour la société par les dommages qu'il peut produire sur des biens ou des personnes. L'aléa résulte de la combinaison de différents facteurs : (INERIS, 2004)

- Débit du cours d'eau : quantité d'eau qui s'écoule en un point donné du cours d'eau. Il s'exprime en m^3/s .
- Extension de crue : elle correspond à la surface inondable.
- Vitesse d'écoulement des eaux : elle est mesurée en un point donné, pour une inondation au paroxysme du phénomène.
- Hauteur de submersion : elle est mesurée pour une crue donnée, lors du maximum de cette crue. Elle est représentative des risques pour les personnes (noyades) et pour les biens, par endommagement direct (action de l'eau) ou indirect (par mise en pression statique).
- Durée de submersion : elle représente la durée approximative pendant laquelle une surface donnée de terrain reste inondée.
- Section du cours d'eau : elle représente la surface occupée par le cours d'eau. Elle dépend de la largeur de celui-ci et de la hauteur d'eau dans son lit mineur.
- Période de retour : intervalle de temps moyen séparant des événements similaires.

Une focalisation exclusive sur l'aléa montrant des limites car ne permettant pas d'aborder la protection des territoires de façon optimale, divers scientifiques (principalement américains) ont cherché à enrichir la notion d'enjeu en y introduisant une composante sociale. A l'origine, l'objectif était uniquement d'estimer l'impact physique (dommages potentiels) de l'aléa sur des enjeux. Peu à peu, la notion de fragilité propre d'un enjeu apparaît. Elle est définie comme la relation entre l'endommagement et la capacité de résistance physique de l'enjeu. Parallèlement, de nouvelles recherches soulignent la nécessité de prendre en compte le degré d'exposition d'un enjeu à un aléa. « *Dans le même temps, les sciences sociales mettent en évidence l'importance des facteurs sociaux et montrent qu'il existe une vulnérabilité sociale, c'est-à-dire une fragilité inhérente aux enjeux, fragilité qui dépend justement de facteurs cognitifs, socio-économiques, politiques, juridiques, culturels, etc* » (VEYRET Y., REGHEZZA M., 2006). C'est ainsi, que l'étude du risque est passée d'une prise en compte centrée sur l'aléa à une pensée tournée d'avantage vers la vulnérabilité mais toujours dans une optique de gestion du risque accrue.

Pour appuyer ce phénomène, on peut penser aux dégâts considérables que causerait une inondation du type de celle de 1910 sur le territoire parisien. Le coût d'une telle catastrophe avoisinerait les 12 milliards d'euros selon les estimations. S'ajoute à cela, des perturbations majeures (réseaux d'eau potable, d'électricité, d'assainissement...) qui paralyseraient le territoire régional durant plusieurs semaines voire plusieurs mois. La ville de Paris concentrant de nombreux services et activités de rayonnement national, les répercussions d'une telle crise pourraient s'étendre au-delà de la zone inondée (Ile-de-France voire le territoire national tout entier) engendrant une perte de croissance économique, et une réduction de l'activité de nombreuses entreprises affectées indirectement par ce phénomène. De plus, Paris étant une ville avec un rayonnement international intégrée au réseau mondial, « *l'inondation de la capitale française et l'arrêt ou le fort ralentissement de ses activités pendant plusieurs semaines, voire plusieurs mois, pourraient se traduire par une perte de rang au sein de ce réseau, avec en retour des conséquences majeures pour la ville, la région parisienne et le pays* » (VEYRET Y., REGHEZZA M., 2006). Ainsi, la mondialisation et par conséquent, l'intégration des grandes villes au sein du réseau mondial constitue un facteur majeur de vulnérabilité.

Dès les années 1970, le rôle de l'exposition des enjeux menacés est mis en avant et va venir enrichir cette manière d'appréhender la vulnérabilité. « *Les travaux de Whitman (1975) et Fournier d'Albe (1979) sur l'effet des séismes montrent que le degré d'endommagement est conditionné par la localisation géographique des enjeux par rapport à la source de danger* » (VEYRET Y., REGHEZZA M., 2005). Dès lors, la vulnérabilité devient le degré d'endommagement des enjeux en fonction de leur aspect spatial c'est-à-dire de leur localisation géographique par rapport à l'aléa. La vulnérabilité peut ainsi se traduire cartographiquement « *grâce à des zonages présentant la gradation de l'exposition en fonction de l'aléa* » (VEYRET Y., REGHEZZA M., 2005). La réglementation des enjeux à venir devient la gestion la plus efficace. Sa traduction actuelle est le plan de prévention des risques.

Finalement, la vulnérabilité peut se traduire par la sensibilité d'enjeux face à un aléa défini par ces composantes physiques (débit, vitesse, hauteur d'eau ...). Cette sensibilité peut se traduire de différentes manières : sensibilité démographique (nombre d'habitants et caractéristiques de ceux-ci), sensibilité économique (relative aux emplois présents sur le territoire par exemple), sensibilité des bâtiments (nombre d'étages, période de construction...) et autres sensibilités relatives à des équipements pouvant aggraver les dommages de l'inondation (station d'épuration, station de pompage, transformateur électrique...).

3. Méthodes d'évaluation des vulnérabilités

En matière d'évaluation de la vulnérabilité, bon nombre de scientifiques considèrent que la France accuse un certain retard par rapport à l'étranger. Deux pays réputés pour leur savoir-faire se distinguent « *par l'importance des recherches entreprises et le niveau de développement des méthodes d'évaluation des vulnérabilités aux inondations en matière de savoir-faire* » (BARROCA – POTTIER – LEFORT, 2005) : l'Angleterre et les Etats-Unis. Les études sur l'évaluation de la vulnérabilité y sont donc relativement anciennes. « *Aujourd'hui, les recherches américaines constituent toujours d'importantes références comme l'attestent les nombreux articles traitant des méthodologies d'évaluation des vulnérabilités publiés dans le Natural Hazard Review (FLAX LISA K. et al., 2002 ; WOOD NATHAN J. et al, 2002)* » (BARROCA – POTTIER – LEFORT, 2005) .

Ainsi, depuis des années, les scientifiques essayent d'estimer la notion de vulnérabilité afin d'anticiper les dommages potentiels et ainsi mettre en place des moyens de prévention et de protection adaptés aux territoires concernés.

Au fil du temps, plusieurs méthodes et types de méthodes (quantitative, qualitative) d'évaluation de la vulnérabilité ont vu le jour. Nous avons choisi ici de vous présenter quelques méthodes anglo-saxonnes ainsi que les principales méthodes utilisées sur le territoire français que nous avons pu recenser durant nos recherches bibliographiques.

Les études menées en Angleterre, abordent tous les types de dommages par le biais essentiellement de méthodes quantitatives telles que l'utilisation des analyses coûts/bénéfices par exemple. Malgré leur faible développement, des démarches plus qualitatives ont été utilisées vers la fin des années 1990 et le début des années 2000. On peut citer ici l'exemple de la « *Bootstrapping method, mise en place pour l'évaluation des dommages à la santé et les pertes de biens irremplaçables. Cette méthode propose une évaluation monétaire du coût des dommages tangibles subis par la population sinistrée alors interrogée par enquête. Les questionnaires d'enquête permettent également aux individus*

d'attribuer une note de sévérité aux dommages tangibles et intangibles. Cette méthode propose donc d'évaluer les impacts intangibles en leur attribuant la même valeur monétaire que les dommages tangibles ayant obtenus la même note de sévérité » (BARROCA – POTTIER – LEFORT, 2005).

En France, l'objectif en matière de vulnérabilité face aux différents risques est jusque dans les années 1990 de répondre aux exigences de l'État par le biais de méthodes quantitatives uniquement. Deux types de méthodes sont principalement exploités :

- > Des démarches coûts/avantages comme celles utilisées en Angleterre
- > Des démarches « phénoménologiques » dont le but est d'évaluer les vulnérabilités, d'estimer le coût moyen annuel à partir de retours d'expériences et de calculer les dommages potentiels.

Enfin, ces dernières années, plusieurs méthodes d'évaluation qualitatives ont vu le jour en France. La principale méthode d'analyse de la vulnérabilité, axée sur une analyse multicritère a été proposée par Sergio Puente en 1999 dans l'ouvrage de synthèse publié par l'ONU sur le risque dans les métropoles (RUFAT, 2007). Celle-ci repose sur une matrice multicritère et permet de prendre en compte à la fois les facteurs de fragilité et les facteurs de résilience des systèmes. L'analyse est présentée sous forme de matrice, avec les valeurs d'une trentaine d'indicateurs divers et variés (âge, densité, revenu, matériaux de construction, réseau de gaz, sous-sol amplifiant les ondes sismiques...) auxquels est attribué un coefficient de renforcement de la vulnérabilité de 1 à 5, à la discrétion de l'auteur. Cette méthode pose les bases d'une analyse de la vulnérabilité reposant sur les retours d'expériences. Elle est cependant arbitraire dans la définition des seuils et l'attribution du degré de renforcement de la vulnérabilité. Le recours aux analyses multivariées permet de surmonter ces problèmes.

D'autres techniques d'analyse multicritères ont été développées tel que la méthode de D. GRAILLOT en 2001 ayant pour objectif de « *caractériser la vulnérabilité des zones urbaines et des projets d'aménagement exposés à un risque à partir du mode d'occupation du sol* » (BARROCA – POTTIER – LEFORT, 2005). La méthode de traitement des données reste cependant similaire, chaque critère de vulnérabilité est standardisé, puis pondéré en fonction de son importance supposée pour finalement obtenir un indice d'évaluation unique définissant la valeur de l'occupation du sol en termes d'enjeux économiques et humains.

Peu utilisées auparavant pour traiter la vulnérabilité des territoires face aux inondations, elles sont aujourd'hui en plein essor et tendent à s'adapter à l'évaluation de la vulnérabilité en zone inondable.

La seconde principale méthode récemment développée est l'analyse multivariée. Le recours à cette analyse permet de résoudre les problèmes de définition des seuils rencontrés avec une approche par la vulnérabilité. À partir du cas de l'agglomération lyonnaise, Samuel Rufat a défini cette méthode basée sur l'utilisation de classifications automatiques permettant d'aboutir à une typologie de la vulnérabilité des îlots urbains. La première étape de cette méthode utilisée par Rufat consiste à séparer les aléas en deux types : « *phénomènes rapides endommageant les infrastructures, touchant le bâti et les personnes (glissement de terrain rapide, surpression...); phénomènes lents, nécessitant une évacuation et/ou un confinement et touchant les populations qui sont à l'extérieur et/ou dans la zone d'exposition (montée des eaux, nuage toxique...)* » (RUFAT, 2007). Par la suite, une série d'indicateurs est sélectionné en fonction de l'aléa considéré.

Au final, une représentation cartographique de la vulnérabilité couplée avec une carte des aléas est obtenue afin de produire une carte synthétique du risque urbain. Finalement, l'analyse multivariée permet de « *déplacer les préoccupations de la gestion du risque des espaces les plus exposés, survalorisés par la législation, aux espaces les plus vulnérables* » (RUFAT, 2007). Elle permet donc de faire une estimation fiable de la vulnérabilité des îlots d'une grande agglomération exposée à différents aléas. « *Les cartes obtenues permettent une lecture synthétique de la vulnérabilité et du risque, elles matérialisent des informations nombreuses et complexes et sont un outil efficace, tant pour l'aide à la décision que la sensibilisation ou l'évaluation des enjeux au-delà des limites communales* » (RUFAT, 2007).

Cependant, cette méthode présente plusieurs limites. Tout d'abord, elle n'est pas adaptée à l'utilisation de données de différents types (surfaciques, ponctuelles). Ensuite, en ce qui concerne ces données en périphérie, il apparaît un problème d'interprétation en raison de la grande taille des îlots. Un autre problème concerne les choix réalisés pour la hiérarchisation des classes obtenues par classification automatique, qui peuvent être discutables. Enfin, les espaces non bâtis ont été considérés comme homogènes et écartés de l'analyse (non prise en compte des terrains agricoles par exemple).

Enfin, nous avons étudié, la formule ci-dessous issue d'un rapport du projet Riskcath (RISKCATCH, 2007) qui vise à proposer de nouvelles solutions pour une approche intégrée d'évaluation des risques basée sur la gestion des risques naturels dans la région alpine et ses environs.

$$R = p_{S_i} * A_{O_j} * p_{O_j . S_i} * v_{O_j . S_i}$$

Avec	R	=	le risque
	p_{S_i}	=	le produit de la probabilité du scénario i
	A_{O_j}	=	le dommage potentiel de l'objet j
	$p_{O_j . S_i}$	=	la probabilité d'exposition de l'objet j au scénario i
	$v_{O_j . S_i}$	=	la vulnérabilité de l'objet O_j face au scénario S_i

On remarque que cette formule intègre la notion de vulnérabilité et permet d'étudier des objets précis O_j soumis à un scénario particulier S_i (aléa). Ainsi, il nous est apparu que nous pouvions étudier la vulnérabilité à l'échelle d'un objet (bâtiment en zone inondable), voir afin d'uniformiser la méthode, d'étudier tous les bâtiments d'un même iris dans une zone d'aléa donnée.

En conclusion, nous pouvons dire qu'il existe aujourd'hui de nombreuses méthodes de caractérisation et d'évaluation de l'élément « vulnérabilité » en risques naturels, (notamment pour les inondations) expérimentées au cours des 20 dernières années en France et à l'étranger. Les démarches qualitatives, plus récentes que les méthodes quantitatives, et privilégiées aujourd'hui, restent peu nombreuses mais en pleine expansion. Cependant, « *il manque généralement à ces dernières le caractère opérationnel indispensable à la gestion locale des risques* » (BARROCA – POTTIER – LEFORT, 2005).

Suite aux différentes recherches bibliographiques sur la vulnérabilité, l'aléa d'inondation et les diverses méthodes d'évaluation du risque et de la vulnérabilité, nous avons choisis de retenir le modèle suivant afin de quantifier la vulnérabilité d'un site.

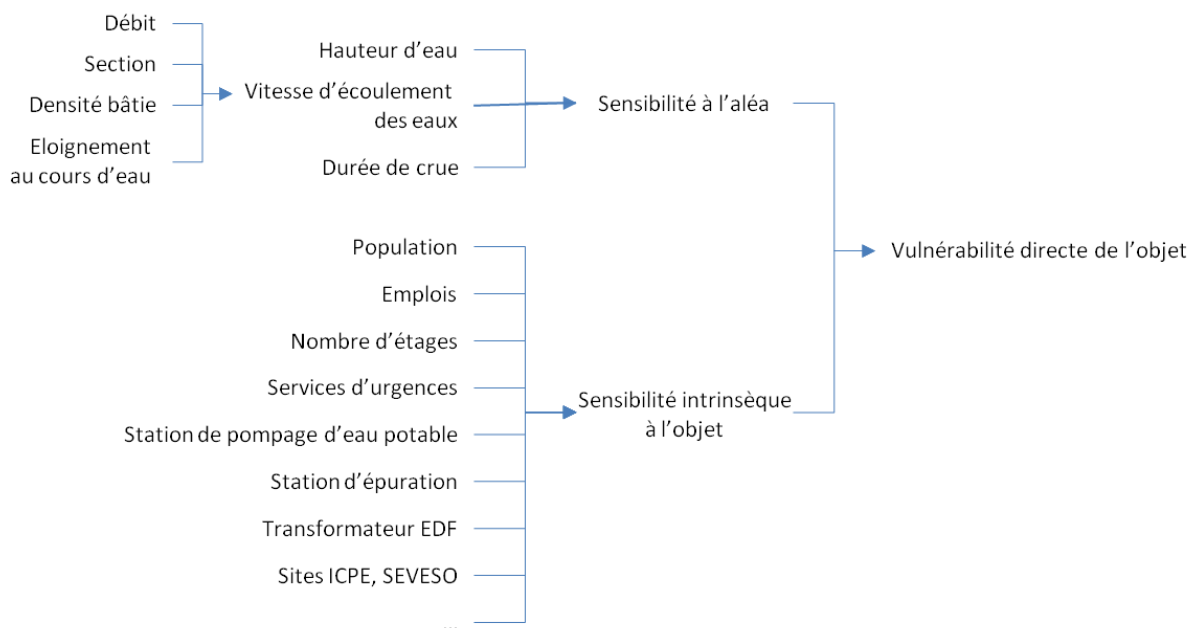


Figure 6 : Schéma formule de la vulnérabilité directe d'un objet

Ainsi, plusieurs composantes de l'aléa ont été volontairement exclues de ce modèle pour diverses raisons :

La section : les deux territoires étudiés possédant des sections totalement différentes, ce critère aurait un poids important, et cela ne nous semble que peu pertinent puisqu'il s'agit d'un facteur intrinsèque au territoire d'étude. De plus, en prenant en compte la section, nous ne pouvons pas opérer dans une démarche globale mais d'avantage dans une démarche en « points fixes » du fait que celle-ci varie constamment selon le lieu géographique considéré.

Le débit : il est le produit de la section et de la vitesse de la rivière étudié. Il est apparu qu'en utilisant le débit, et non la vitesse dans notre formule, il gommait les effets de la vitesse qui nous intéressent particulièrement puisqu'elle explicite clairement la violence de l'aléa.

III. Résultats

1. Démarche de calcul de l'indice de vulnérabilité

L'objectif initial de cette démarche est d'aboutir pour chaque site d'étude, dans le domaine défini (socio-économique) à des indices de vulnérabilité afin d'effectuer une comparaison de la vulnérabilité entre nos deux territoires soumis à leur aléa d'inondation respectif.

a. Zone de calcul de la vulnérabilité : croisement IRIS/zone d'aléa

Afin d'effectuer notre calcul de vulnérabilité à l'échelle la plus précise possible, nous avons décidé de croiser les IRIS et les zones d'aléa (très fort, fort, moyen et faible pour Orléans et rouge, centre-ville, bleu foncé, bleu clair pour Saint-Étienne) de nos territoires.

L'IRIS est un découpage INSEE des communes françaises, les informations telles que le nombre d'habitants, le nombre d'emplois ... sont donnés à cette échelle par l'INSEE. Les IRIS nous permettent d'être plus précis dans notre démarche puisque les enjeux sont localisés à une échelle spatiale plus réduite que celle de la commune. La couche d'aléa est issue des PPRI respectifs des deux sites d'étude et ont été repris par nos soins afin de clarifier et simplifier ces couches cartographiques rassemblant de nombreuses données.

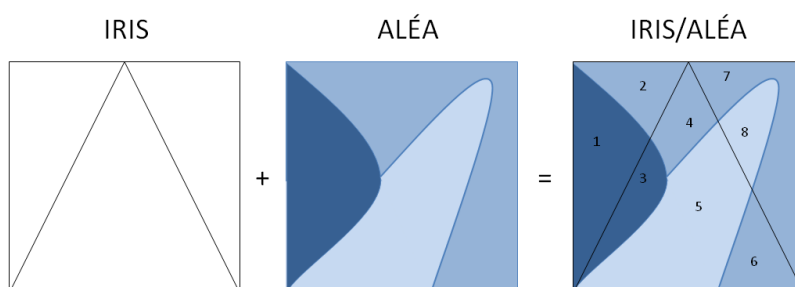


Figure 7 : Zone de calcul de la vulnérabilité : l'objet IRIS/ALÉA

La Figure 7 est une illustration de cette zone à l'échelle de laquelle nous effectuons tous nos calculs. Nous avons premièrement un territoire découpé en trois IRIS. Ce même territoire est divisé en trois zones d'aléa différentes. Nous obtenons huit objets IRIS/ALÉA dans lesquels nous effectuerons les calculs de vulnérabilité de ce territoire.

b. Caractéristiques de l'aléa d'inondation

Comme énoncé précédemment, pour le calcul de notre indice de vulnérabilité, nous nous sommes basés sur l'aléa d'inondation de référence de chacun de nos territoires d'étude. Dans l'objectif d'estimer la vulnérabilité maximale de nos deux sites dans le cas où une catastrophe similaire se reproduirait dans le futur.

i. Vitesse d'écoulement des eaux

En ce qui concerne la vitesse de propagation des eaux, nous n'avons pas pu obtenir cette donnée directement aussi bien par le biais de recherches bibliographiques que de contacts avec des agents travaillant sur cette thématique d'inondation sur nos sites d'études. Cependant, connaissant les débits de la Loire et du Furan au maximum de la crue et leur section respective, nous avons obtenu une vitesse d'écoulement des eaux maximale dans le lit mineur des deux cours d'eau (en rouge).

	Orléans	Saint-Étienne
Débit maximum (m ³ /s)	7 100	75
Section (m ²)	2 307	10
Vitesse maximum (m/s)	3	7,5

Tableau 8 : Calcul de la vitesse de propagation des eaux sur Orléans et Saint-Étienne

Sources : DICRIM, PPRI

Pour Orléans, la section a été obtenue par la multiplication de la hauteur d'eau de la crue de référence indiquée à l'échelle de crue du pont George V et la longueur de celui-ci soit : $7,10 * 325 = 2\,307\text{ m}^2$. Tandis que pour Saint-Étienne, celle-ci fut obtenu par la multiplication de la hauteur estimée de la partie couvrant le Furan par sa largeur estimée : $2 * 5 = 10\text{ m}^2$.

Nous observons donc que la hiérarchie est respectée entre la crue lente d'Orléans où l'on constate une vitesse moindre par rapport à la crue rapide de Saint-Étienne ayant une vitesse 2,5 fois supérieure.

Lors de notre démarche de calcul, nous avons donc intégré ces valeurs obtenues par le croisement du débit du cours d'eau et de la section de celui-ci. Cependant, la vitesse d'écoulement des eaux variant selon la situation géographique de l'objet (ici l'objet représente le croisement IRIS/ALÉA), celle-ci diminue en fonction de l'éloignement de l'objet considéré au cours d'eau et de la densité urbaine qui a pu la ralentir au préalable. C'est ainsi que dans un premier temps, nous avons décidé de faire décroître cette vitesse en fonction des deux caractéristiques précédentes (éloignement et densité bâtie). Cependant, devant la disposition des zones d'aléa sur l'agglomération orléanaise, c'est-à-dire la présence de zones d'aléa fort et très fort aux abords du Loiret (à 5,5 km du lit mineur de la Loire soit à l'extrémité sud de la zone inondable de la Loire), il nous est paru plus judicieux d'affecter une valeur propre de vitesse d'écoulement des eaux à chaque zone d'aléa.

De plus, la crue de 1856 a eu pour conséquence la formation de brèches sur le Val d'Orléans. D'après l'article *Les brèches des levées de la Loire*, (MAURIN J, BOULAY A, PINEY S, LE BARBU E, TOURMENT R, 2012) pour la plus importante d'entre elles à Jargeau, la masse d'eau a mis 17h à atteindre la commune de Mareau-aux-Prés (à 30 km de la brèche). En effet, le débit maximum passant dans la brèche a eu lieu le 2 juin à 14h tandis que la pointe de la crue a été observée le 3 juin à 7h. Soit 17h plus tard. Nous avons donc pu en déduire une vitesse moyenne d'écoulement des eaux entre la brèche et le centre-ville de Mareau-aux-Prés. Par l'application de la formule $vitesse = \frac{distance}{temps}$, nous obtenons 0,49m/s.

Nous sommes donc arrivés à la répartition suivante :

- Zone d'aléa faible : 0,5m/s
- Zone d'aléa moyen : 1m/s
- Zone d'aléa fort : 2m/s
- Zone d'aléa très fort : **3m/s**

Le 0,5m/s calculé par le biais de la brèche de Jargeau et le 3m/s représentant la vitesse au maximum de la crue ont été pris respectivement comme valeur minimale et maximale de la vitesse d'écoulement des eaux.

Concernant la vitesse sur Saint-Étienne, il ne nous est pas apparu judicieux de la faire décroître compte tenu de l'étendue de crue relativement filaire (en sa partie la plus large, l'étendue mesure tout juste 300 mètres). La vitesse n'a donc pas forcément le temps de diminuer sur une largeur aussi faible par rapport à Orléans où elle se compte en kilomètres (de l'ordre de 6 km maximum).

ii. Durée de crue

Au sein de cette échelle de calcul, nous avons donc tenu compte de différents facteurs pour exprimer la vulnérabilité comme décrite dans la partie précédente. Tout comme pour la vitesse, nous n'avons pas trouvé de valeur directe de la durée de crue sur nos deux sites. Cependant, par le biais de nos recherches dans le projet Plan Loire Grandeur Nature et particulièrement de discussions avec des personnes du projet CEMORAL, nous avons conclu qu'il existait un rapport de 1/10 entre une crue rapide et une crue lente (le débordement des eaux lors d'une crue lente se déroule sur une période 10 fois plus importante que celui d'une crue rapide) pour nos territoires d'étude.

Nous avons décidé de ne pas utiliser les valeurs de la durée totale de la crue (considérant la crue et la décrue) mais seulement la période où la crue est la plus violente, c'est-à-dire le niveau d'eau ne pouvant pas être contenu par les digues (soit 6 000 m³ pour Orléans : DICRIM Orléans). En ce sens, nous avons donc fixé une durée de 20h pour Orléans et de 2h pour Saint-Étienne à partir de l'hydrogramme ci-dessous similaire en termes de débit à celui de la crue de référence de 1856 à Orléans.

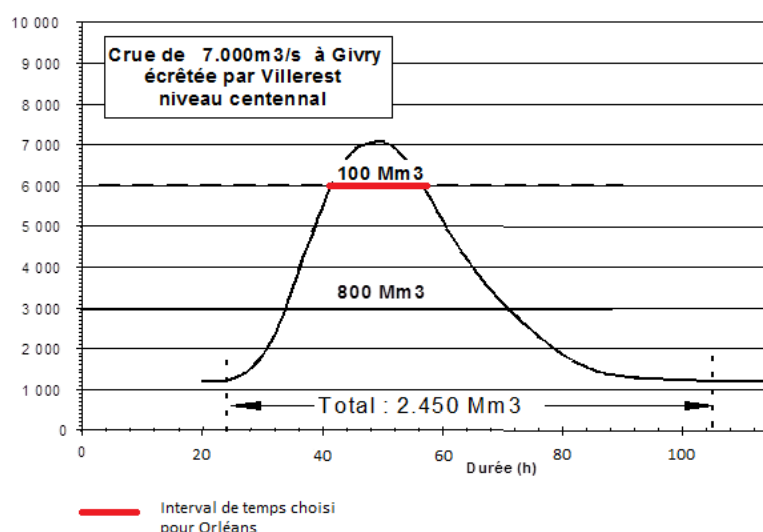


Figure 8 : Hydrogramme de la crue de type centennale à Givry
Source : Plan Loire Grandeur Nature

Pour notre étude nous ne considérerons que la partie de la courbe se situant au dessus du trait rouge, correspondant aux 20h de crue que nous avons posé. En s’inspirant de cet hydrogramme et suite aux discussions avec nos tuteurs il est apparu que le schéma ci-dessous reflète la durée de crue, et la différence entre la crue d’Orléans et celle de Saint-Étienne. Cette courbe est un zoom de la partie supérieure de la courbe de la Figure 8. La crue de Saint-Étienne étant brève et violente elle correspond au sommet de la courbe de crue d’Orléans, avec un débit et une vitesse forts et une durée courte.

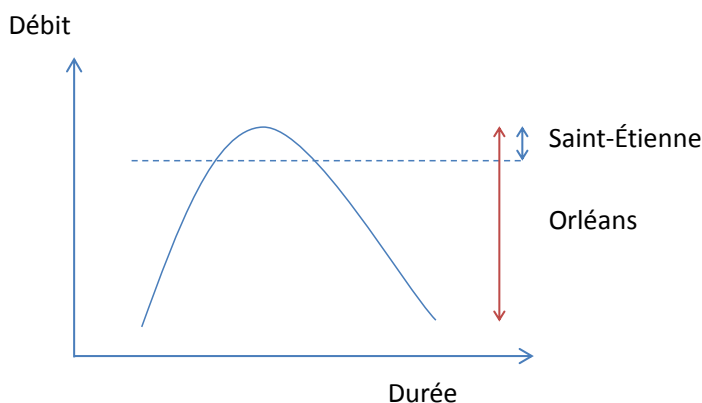


Figure 9 : Schéma simplifié de l'hydrogramme de crue de nos sites d'étude

iii. Hauteur d'eau

La répartition de la hauteur d’eau en fonction des zones d’aléa (fourchette pour chaque zone) étant connue sur Orléans via son PPRI, et toujours dans l’objectif de calculer un indice de vulnérabilité maximal pour chaque site (au maximum de la crue). Nous avons décidé tout comme pour la vitesse de maximiser les hauteurs d’eau prises en compte dans notre démarche. Le tableau ci-dessous présente les valeurs qui ont été utilisées dans notre calcul de la vulnérabilité.

Zones d'aléa : Orléans / Saint-Étienne	Hauteur d'eau	Choix sur Orléans	Choix sur Saint-Étienne
Faible / Bleu clair	0 à 0,5m	0,5m	0,5m
Moyen / Bleu foncé	0,5 à 1m	1m	1m
Fort / Centre-ville	1 à 2m	2m	2m
Très fort / Rouge	Supérieur à 2m	3m	3m

Tableau 9 : Définition des hauteurs d'eau pour les calculs de vulnérabilité

Source : PPRI

c. Recensement des enjeux

Notre étude a pour objectif de comparer la vulnérabilité en zone inondable de nos deux sites d'études de la population, des entreprises, des emplois, et des bâtiments.

i. La population

Les données concernant cet enjeu, sont issues des indicateurs développés dans le cadre du projet CEMORAL et plus particulièrement dans l'indicateur 1.1 traitant de l'importance de la population en zone inondable. Cet indicateur nous a fournis les données de base pour notre démarche, c'est-à-dire :

- La population totale par zone d'aléa
- La population par IRIS
- La population par bâtiment

ii. Les entreprises et les emplois

Comme précédemment, les données que nous avons exploitées sont issues d'indicateurs du projet CEMORAL. Il s'agit ici des indicateurs 2.1 et 2.2 traitant de l'emploi en zone inondable et qui nous ont permis d'exploiter :

- Le nombre d'entreprises et d'emplois par IRIS
- Le nombre d'entreprises et d'emplois total par zone inondable

iii. Les bâtiments

Comme précédemment, les données que nous avons exploitées sont issues d'un indicateur du projet CEMORAL. Il s'agit tout comme pour la population de l'indicateurs 1.1 dont nous avons exploité :

- L'aire des bâtiments
- La hauteur des bâtiments

Pour étudier la vulnérabilité des bâtiments, nous avons après réflexion avec nos tuteurs, choisi d'étudier le nombre d'étages de chaque zone IRIS/ALÉA, et d'effectuer une moyenne par zone IRIS/ALÉA en divisant cette somme de nombre d'étages par le nombre de bâtiments de la zone considérée. Le nombre d'étages a été obtenu en divisant la hauteur du bâtiment par 3, puisque nous avons considéré la hauteur d'un étage égale à 3 mètres.

Toutes les données du projet CEMORAL ont été retravaillées sous Système d'Information Géographique afin d'obtenir les informations des enjeux étudiés à l'échelle IRIS/ALÉA.

d. Méthodologie

Pour l'étude d'un enjeu donné, ici la population, on constate que la formule initiale de calcul de la vulnérabilité a été simplifiée au niveau du calcul de la sensibilité à l'aléa. Les trois critères composant cette sensibilité à l'aléa ont été posés précédemment. Ils sont cependant, facilement modifiables dans notre tableur de calcul, permettant ainsi de faire évoluer la précision du calcul si des données exactes étaient par la suite trouvées.

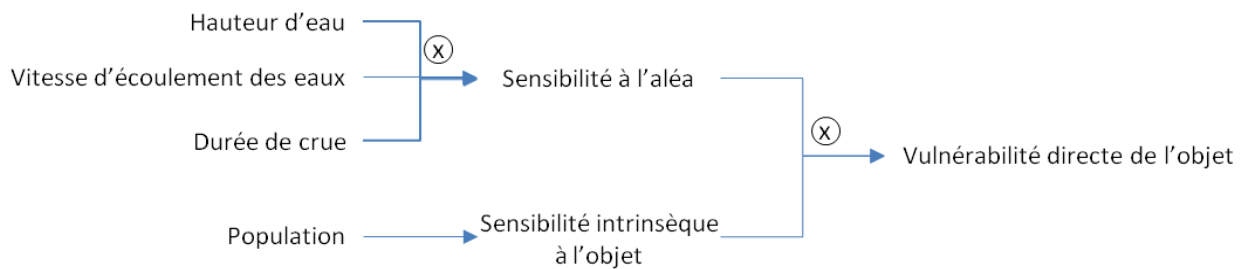


Figure 10 : Schéma de la formule de calcul de la vulnérabilité de la population

L'objet évoqué dans ce schéma est la zone IRIS/ALÉA.

Une fois les données de population obtenues pour chaque objet spatial, de chaque site d'étude, la base de données constituée par cet ensemble de valeurs est exportée du SIG vers notre tableur de calcul de vulnérabilité.

Le nombre d'habitants a été estimé à la base par bâtiment avec la méthode suivante :

- La surface développée de chaque bâtiment (surface au sol du bâtiment*nombre d'étages) (*DevBat*)
- Somme de cette surface développée pour chaque IRIS (*SurfDev_IRIS*)
- La population totale de l'IRIS (*Pop_IRIS*)
- Estimation de la population de l'IRIS par m² : $\frac{Pop_IRIS}{SurfDev_IRIS} = pop_SurfDev$
- Estimation de la population par bâtiment : $pop_SurfDev * DevBat$

Cette opération est réalisée pour tous les IRIS, ensuite un croisement est fait avec la couche SIG d'aléa et seuls les bâtiments en zone inondable sont conservés avec leur population respective. Nous n'avons pas réalisé cette opération puisqu'elle avait déjà été réalisée dans le cadre du projet CEMORAL pour nos deux terrains d'étude. Nous explicitons cette méthode pour montrer qu'il s'agit d'une estimation de la population par zone IRIS/ALÉA et non d'une donnée fournie par l'INSEE. Cependant, cette méthode d'estimation de la population est relativement précise du fait de la taille de la surface spatiale de base utilisée (IRIS) et de la prise en compte des surfaces bâties uniquement ainsi que de leur nombre d'étages.

Une fois la base de données exportée dans le tableur de calcul, la vulnérabilité de chaque zone IRIS/ALÉA est calculée :

$$\text{hauteur} * \text{vitesse} * \text{durée} * \text{population}$$

Nous obtenons en sommant les vulnérabilités de tous les objets d'un site :

- 6 658 151 913,91 habitants.m² pour Saint-Étienne
- 9 908 877 381,70 habitants.m² pour Orléans.

La vulnérabilité la plus importante a été trouvée à Orléans. Cependant, devant cette différence entre les deux territoires et l'unité obtenue, (présence des m² rappelant l'étendue de crue), nous avons décidé après discussion avec nos tuteurs de rapporter cet indice de vulnérabilité calculé à une masse de population vulnérable et ainsi éviter d'obtenir un effet de surface. Pour cela, nous avons divisé la vulnérabilité obtenue sur chaque objet par la superficie de celui-ci. Cette opération a pour objectif de normaliser le résultat final. De ce fait la surface en m² de chaque objet IRIS/ALÉA doit elle aussi être calculée et insérée à la base de données.

Le résultat obtenu à cette forme :

- La colonne 1 est l'identifiant de la zone IRIS/ALÉA, il est unique (numéro d'IRIS & aléa)
- La colonne 2 correspond à la population de cette zone
- La colonne 3 est la vulnérabilité de l'objet IRIS/ALÉA calculé
- La colonne 4 est la surface de chaque objet IRIS/ALÉA
- La colonne 5 est la vulnérabilité normalisée : $\text{colonne 5} = \text{colonne 3} / \text{colonne 4}$.

1	2	3	4	5
IRIS_ALEA	Population	Vulnérabilité	Surface (m ²)	Vulnérabilité normalisée
420920000 bleu clair	8,74	236033,95	20724,34	11,39
422181805 bleu clair	0,60	16117,00	1427,82	11,29
422182101 bleu clair	0,74	20023,27	33044,89	0,60
...	...	...	...	...
420920000 bleu foncé	95,51	5157707,25	24127,46	213,77
422182101 bleu foncé	63,46	3427019,06	5539,40	618,66
422182103 bleu foncé	4,55	245932,96	19476,85	12,63
...	...	...	...	...
422180403 centre-ville	1493,82	161332898,50	56772,79	2841,73
422180801 centre-ville	2092,48	225988315,6	114229,84	1978,36
422181701 centre-ville	15,83	1709978,019	6320,43	270,55
...	...	...	...	...
420920000 rouge	16,24	2630777,071	178608,19	14,73
422080000 rouge	0,13	20633,55404	6327,24	3,26
422182101 rouge	469,20	76010621,19	82450,60	921,89
...	...	...	...	...

Tableau 10 : Extrait du tableur de calcul de la vulnérabilité de la population à Saint-Étienne

Cette opération est réalisée pour les deux terrains d'étude pour chaque enjeu étudié.

2. Importance de la population en zone inondable

Degré d'aléa	Population par zone d'aléa	Pourcentage de la population par zone d'aléa (%)
Faible	9 175	17,59
Moyen	20 421	39,15
Fort	18 612	35,68
Très fort	3 952	7,58

Tableau 11 : Population par zones d'aléa à Orléans

Sources : BD TOPO®, INSEE, CEMORAL

Degré d'aléa	Population par zone d'aléa	Pourcentage de la population par zone d'aléa (%)
Bleu clair	114	0,56
Bleu foncé	227	1,11
Centre-ville	19 341	94,84
Rouge	711	3,49

Tableau 12 : Population par zones d'aléa à Saint-Étienne

Sources : BD TOPO®, INSEE, CEMORAL

	Population	Somme vulnérabilité population	Somme surface (m²)	Somme vulnérabilité population normalisée
Orléans	52 100	9 908 877 381,70	75 650 503,27	47 057,98
Saint-Étienne	20 393	2 219 383 971,30	3 792 613,54	33 577,69

Tableau 13 : Résultats vulnérabilité de la population

La population en zone inondable est plus importante à Orléans qu'à Saint-Étienne (2,5 fois plus). Nous remarquons que la somme des vulnérabilités est supérieure à Orléans de près de 4,5 fois la valeur obtenue à Saint-Étienne.

En ce qui concerne la vulnérabilité normalisée, la valeur est encore une fois plus importante à Orléans qu'à Saint-Étienne, impliquant que ce territoire est plus vulnérable démographiquement.

3. Importance des entreprises en zone inondable

Degré d'aléa	Nombre d'entreprises par zone d'aléa	Pourcentage d'entreprises par zone d'aléa (%)
Faible	579	18,77
Moyen	1 255	40,66
Fort	959	31,08
Très fort	293	9,49

Tableau 14 : Entreprises par zones d'aléa à Orléans

Sources : BD TOPO®, INSEE, CEMORAL

Degré d'aléa	Nombre d'entreprises par zone d'aléa	Pourcentage d'entreprises par zone d'aléa (%)
Bleu clair	131	2,59
Bleu foncé	43	0,85
Centre-ville	4 753	93,9
Rouge	135	2,66

Tableau 15 : Entreprises par zones d'aléa à Saint-Étienne

Sources : BD TOPO®, INSEE, CEMORAL

	Nombre d'entreprises	Somme vulnérabilité des entreprises	Somme surface (m²)	Somme vulnérabilité des entreprises normalisée
Orléans	3 091	629 874 000	75 650 503,27	11 744,39
Saint-Étienne	5 087	544 887 000	3 792 613,54	11 021,89

Tableau 16 : Résultats vulnérabilité des entreprises

Contrairement au nombre d'habitants recensé en zone inondable, le nombre d'entreprises est largement supérieur sur Saint-Étienne. On peut expliquer ce phénomène par le fait que Saint-Étienne représente le second réseau de PME et PMI de France tandis que sur Orléans, la zone inondable est essentiellement résidentielle. Malgré tout, la somme des vulnérabilités de chaque objet apparaît supérieure sur Orléans. Une fois la normalisation effectuée, on observe une vulnérabilité finale légèrement supérieure sur Orléans.

4. Importance des emplois en zone inondable

Degré d'aléa	Nombre d'emplois par zone d'aléa	Pourcentage des emplois par zone d'aléa (%)
Faible	9 867	19,57
Moyen	19 873	39,42
Fort	15 356	30,46
Très fort	5 320	10,55

Tableau 17 : Emplois par zones d'aléa à Orléans

Sources : BD TOPO®, INSEE, CEMORAL

Degré d'aléa	Nombre d'emplois par zone d'aléa	Pourcentage d'emplois par zone d'aléa (%)
Bleu clair	10 032	12,96
Bleu foncé	622	0,8
Centre-ville	63 869	82,6
Rouge	2 821	3,64

Tableau 18 : Emplois par zones d'aléa à Saint-Étienne

Sources : BD TOPO®, INSEE, CEMORAL

	Nombre d'emplois	Somme vulnérabilité emplois	Somme surface (m²)	Somme vulnérabilité emplois normalisée
Orléans	50 065,46	10 379 100 698	75 650 503,27	179289,76
Saint-Étienne	77 425,28	7 671 346 951	3 792 613,54	149039,60

Tableau 19 : Résultats vulnérabilité des emplois

En adéquation avec le nombre d'entreprises, on remarque que le nombre d'emplois est plus important sur Saint-Étienne. Une fois encore, cela s'explique principalement par l'étendue de l'aléa d'inondation sur Orléans dans une zone essentiellement résidentielle, et le nombre d'entreprises en zone inondable plus important à Saint-Étienne.

Malgré cela, et comme pour les entreprises, une fois la normalisation effectuée, nous obtenons un résultat supérieur sur Orléans et donc une vulnérabilité finale des emplois plus importante sur ce territoire.

Orléans est donc plus vulnérable économiquement que Saint-Étienne.

5. Importance du bâti en zone inondable

	Moyennes d'étages par bâtiment sur chaque objet IRIS/ALÉA	Somme vulnérabilité (moyenne étages par bâtiment)	Somme surface (m²)	Somme vulnérabilité normalisée (moyenne étages par bâtiment)
Orléans	179,0754204	37 969 410,16	75 650 503,27	855,62
Saint-Étienne	198,1566384	20 164 452,56	3 792 613,54	826,94

Tableau 20 : Résultats vulnérabilité des bâtiments

Selon notre logique plus un bâtiment à un nombre d'étages important moins il est vulnérable en cas de crue rapide, puisque cela permet aux habitants des premiers étages de monter dans les étages supérieurs et ainsi d'être hors-d'eau. Dans le cas d'une crue lente le nombre d'étages a moins d'importance puisqu'une évacuation est possible avant l'arrivée de l'aléa. Malgré tout, on obtient un résultat plus important sur Orléans et donc une vulnérabilité supérieure.

Dans notre tableur nous constatons que la moyenne du nombre d'étage est plus faible sur Orléans : 1,3 contre 2,8 pour Saint-Étienne.

	Moyenne des moyennes d'étages par bâtiment	Médiane des moyennes d'étages par bâtiment
Orléans	1,30	1,33
Saint-Étienne	2,75	2,00

Tableau 21 : Moyenne et médiane du nombre d'étages par terrains d'études

D'après ce tableau, on constate que la médiane des moyennes d'étages par bâtiment sur chaque objet IRIS/ALÉA est faible pour Orléans. Dans la zone inondable d'Orléans, nous trouvons des bâtiments de faible hauteur, de type pavillons, alors que pour Saint-Étienne il s'agit plutôt d'immeubles avec une moyenne et médiane du nombre d'étages par zone IRIS/ ALÉA à 2,8.

6. Variation des paramètres

Ne possédant pas de données dont nous sommes sûrs qu'elles soient exactes, nous avons décidé de faire varier la valeur des différents paramètres de notre formule afin de distinguer le poids de chacun d'entre eux. Nous avons choisi ici de faire varier les paramètres sur l'indicateur population car c'est pour celui-ci que la différence de vulnérabilité entre les deux territoires est la plus importante. Ainsi, en diminuant la valeur de la vitesse d'écoulement des eaux sur Orléans, nous observons une grande diminution de notre résultat final. Finalement, Saint-Étienne apparaît comme plus vulnérable en termes de population qu'Orléans dès lors qu'on diminue la valeur de la vitesse sur Orléans de 30%.

Concernant la hauteur d'eau, étant donné que nous avons fixé les mêmes valeurs par zone d'aléa sur les deux territoires (0,5m ; 1m ; 2m et 3m), il n'est pas utile de la faire varier car elle changerait ainsi sur les deux territoires et cela n'aurait donc pas d'incidence sur le résultat. C'est-à-dire qu'Orléans resterait plus vulnérable.

Enfin pour la durée de crue, nous remarquons que Saint-Étienne devient plus vulnérable sur tous nos indicateurs lorsque nous diminuons cette durée sur Orléans de sorte d'avoir un rapport de 1/7 entre nos deux territoires et non plus de 1/10 (soit une diminution de 30% ; et une durée de crue de 14h à Orléans pour 2h à Saint-Étienne).

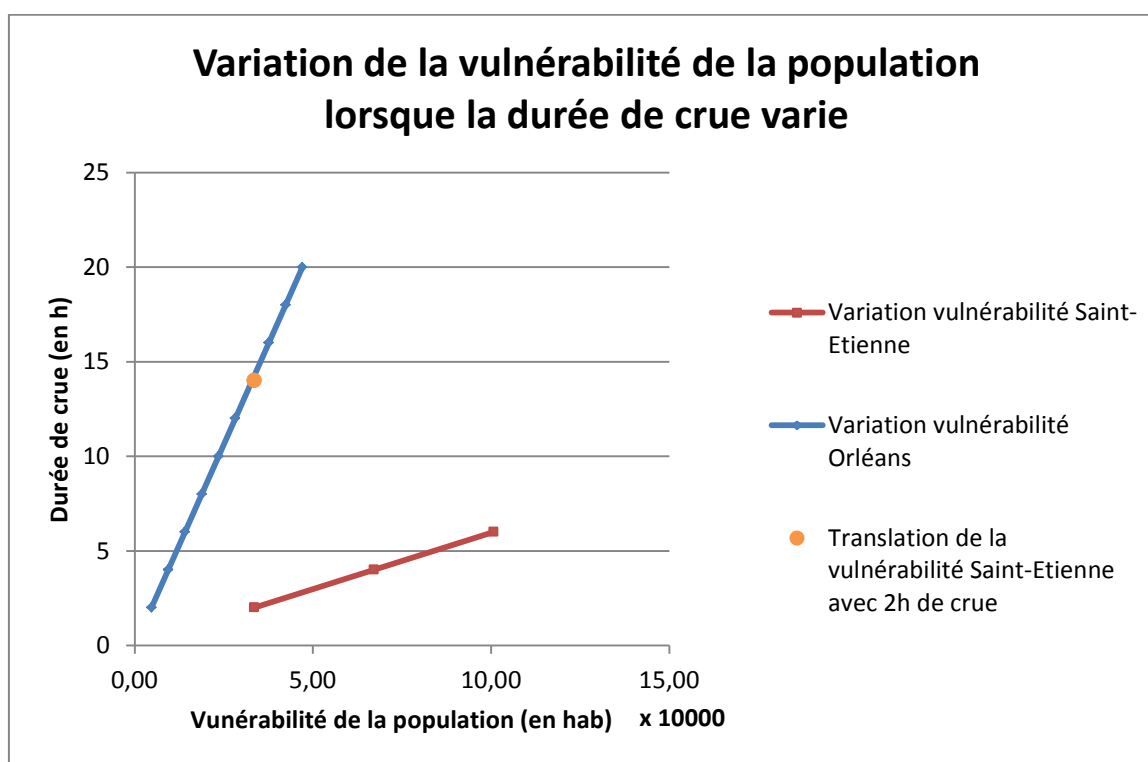


Figure 11 : Vulnérabilité de la population lorsque la durée de crue varie

Ce graphique montre bien que pour une durée de crue de 14h et moins, en termes de population, Orléans est moins vulnérable que Saint-Étienne (avec une durée de crue de 2h).

Limites de la démarche

Afin de rendre cette démarche plus exacte, il faudrait connaître précisément les valeurs de section du Furan, afin de calculer une valeur précise de la vitesse d'écoulement des eaux dans le lit mineur du Furan.

La variation de la vitesse n'étant pas non plus une valeur exacte, il faudrait poursuivre l'idée que nous avons eu de calculer cette vitesse en différents points de la zone inondable en prenant en compte l'éloignement au cours d'eau et/ou la densité de bâti de la zone IRIS/ALÉA précédente qui freine la vitesse d'écoulement de la zone suivante.

D'autre part le réalisme de l'aléa d'inondation de référence à Saint-Étienne est contesté. En effet cette crue est une crue modélisée à partir de la crue de 1839. Cependant, à cette date le Furan n'était pas couvert dans sa traversée du centre-ville de Saint-Étienne. Les gestionnaires des risques de ce territoire sont donc conscients qu'en cas de crue majeure du Furan les impacts seront certainement différents de ceux modélisés dans le PPRI.

Conclusion

Nous avons donc pu remarquer par la mise en place de cette démarche de calcul que le site Orléanais apparaît plus vulnérable que le site stéphanois et ce dans tous les domaines que nous avons pu explorer. Malgré le fait que Saint-Étienne possède d'avantage d'entreprises et d'emplois dans sa zone inondable et cela sur une surface moins étendue qu'à Orléans.

Devant ce résultat que nous avons trouvé surprenant, nous nous sommes posé la question « qu'en est-il à l'échelle de notre objet d'étude IRIS/ALÉA » ? Nous avons donc décidé de rapporter l'indice de vulnérabilité normalisé à cet objet. Pour cela, nous avons divisé ce même indice obtenu précédemment par le nombre d'objets IRIS/ALÉA de chaque site (soit 138 pour Orléans et 72 pour Saint-Étienne).

$$\text{masse de l'enjeu} = \frac{\text{vulnérabilité normalisée de l'enjeu}}{\text{nombre d'objets IRIS/ALÉA}}$$

Ainsi, nous obtenons une masse de population, d'entreprises et d'emploi vulnérable mais à une échelle plus petite. Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

	Masse de populations vulnérables	Masse d'entreprises vulnérables	Masse d'emplois vulnérables	Masse de bâtiments vulnérables
Orléans	341	85,10	1299,20	6,20
Saint-Étienne	466,36	153,08	2069,99	11,49

Tableau 22 : Masses d'enjeux vulnérables

Ainsi, nous observons un changement majeur par rapport aux résultats précédemment obtenus. En effet, en termes d'entreprises, d'emplois et de bâtiments, nous obtenons un indice de vulnérabilité supérieur sur Saint-Étienne tandis que la population reste un secteur d'avantage vulnérable sur Orléans.

En conclusion, on peut dire que le site orléanais apparaît plus vulnérable dans sa globalité mais que ponctuellement celui de Saint-Étienne l'est d'avantage.

Table des illustrations

Figure 1 : Présentation des territoires	15
Figure 2 : Hydrographie et extension de crue à Orléans.....	17
Figure 3 : Hydrographie et extension de crue à Saint-Étienne.....	17
Figure 4 : Présentation de l'échelle d'étude à Orléans	23
Figure 5 : Présentation de l'échelle d'étude à Saint-Étienne	23
Figure 6 : Schéma formule de la vulnérabilité directe d'un objet.....	30
Figure 7 : Zone de calcul de la vulnérabilité : l'objet IRIS/ALÉA.....	31
Figure 8 : Hydrogramme de la crue de type centennale à Givry.....	33
Figure 9 : Schéma simplifié de l'hydrogramme de crue de nos sites d'étude.....	34
Figure 10 : Schéma de la formule de calcul de la vulnérabilité de la population.....	36
Figure 11 : Vulnérabilité de la population lorsque la durée de crue varie.....	42
Tableau 1 : Récapitulatif des données administratives des sites d'études.....	15
Tableau 2 : Comparaison des dispositifs de lutte contre les inondations.....	19
Tableau 3 : Comparaison des types d'inondation	19
Tableau 4 : Crues de référence des sites d'étude	20
Tableau 5 : Historique des dates de crue des sites d'étude.....	20
Tableau 6 : Données administratives pour Saint-Étienne	21
Tableau 7 : Données administratives pour Orléans	21
Tableau 8 : Calcul de la vitesse de propagation des eaux sur Orléans et Saint-Étienne.....	32
Tableau 9 : Définition des hauteurs d'eau pour les calculs de vulnérabilité.....	34
Tableau 10 : Extrait du tableur de calcul de la vulnérabilité de la population à Saint-Étienne	37
Tableau 11 : Population par zones d'aléa à Orléans	38
Tableau 12 : Population par zones d'aléa à Saint-Étienne	38
Tableau 13 : Résultats vulnérabilité de la population.....	38
Tableau 14 : Entreprises par zones d'aléa à Orléans.....	39
Tableau 15 : Entreprises par zones d'aléa à Saint-Étienne	39
Tableau 16 : Résultats vulnérabilité des entreprises	39
Tableau 17 : Emplois par zones d'aléa à Orléans	40
Tableau 18 : Emplois par zones d'aléa à Saint-Étienne	40
Tableau 19 : Résultats vulnérabilité des emplois.....	40
Tableau 20 : Résultats vulnérabilité des bâtiments	41
Tableau 21 : Moyenne et médiane du nombre d'étages par terrains d'études	41
Tableau 22 : Masses d'enjeux vulnérables.....	43
Tableau 23 : Tableau récapitulatif des grandes crues sur la Val d'Orléans.....	50
Tableau 24 : Communes du territoire d'étude stéphanois	50
Tableau 25 : Communes du territoire d'étude orléanais	50

Bibliographie

BARROCA – POTTIER – LEFORT, Analyse et évaluation de la vulnérabilité aux inondations du bassin de l'Orge aval, Septièmes Rencontres de Théo Quant, janvier 2005

Chardon A.C., 1994, « Etude intégrée de la vulnérabilité de la ville de Manizales (Colombie) aux risques naturels », Revue de Géographie Alpine, n°4, p.97-111.

DAUPHINE André, Risques et catastrophes, Observer-Spatialiser-Comprendre-Gérer, Paris, Armand Colin/HER, 288 p., 2001

D'ERCOLE R., THOURET J.-Cl., DOLLFUS O., ASTE J.-P., *Les vulnérabilités des sociétés et des espaces urbanisés : concepts, typologie, modes d'analyse*, Revue de géographie alpine, Tome 82 N°4. pp. 87-96, 1994

Document d'information communal sur les risques majeurs d'Orléans, consulté en janvier 2013

DICRIM de Saint-Étienne <http://www.saint-etienne.fr/cadre-vie/information-risques-majeurs-bis/risques-majeurs-a-saint-etienne>, consulté en janvier 2013

DUPONT Yves (ss. la dir. de), *Dictionnaire des risques*, Paris, Armand Colin, 421 p., 2003

INERIS - Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, *Guide pour la prise en compte du risque inondation*, Novembre 2004.

MAURIN J, BOULAY A, PINEY S, LE BARBU E, TOURMENT R, *Les brèches des levées de la Loire – Brèche de Jargeau 1856*, Paris, 1-2 février 2012

Plan de prévention du risque d'inondation de la vallée de la Loire-Val d'Orléans, agglomération orléanaise, approuvé par l'arrêté préfectoral du 2/02/2001.

Plan de prévention des risques naturels prévisibles d'inondation - bassin du Furan) de Saint-Étienne <http://www.loire.gouv.fr/les-plans-de-prevention-des-r188.html>, consulté en janvier 2013

RISK CATCH - Sven Fuchs, Wolfgang Dorner, Karl Spachinger, Kamal Serrhini, *Development of Flood Risk in Mountain Catchments and Related Perception*, ERA-NET CRUE Funding Initiative, Mid-term seminar, Lyon, 17 October 2007

RUFAT S., L'estimation de la vulnérabilité urbaine, un outil pour la gestion du risque, approche à partir du cas de l'agglomération lyonnaise, volume 82/1-2, p.7-16, 2007

THOURET J.-Cl., D'ERCOLE R., Vulnérabilité aux risques naturels en milieu urbain : effets, facteurs et réponses sociales, Cahier des Sciences Humaines, n°32, p.407-422, 1996

VEYRET Y., Géographie des risques naturels en France, de l'aléa à la gestion, Paris, Hatier, 251 p., 2004

VEYRET Y., REGHEZZA M., *Aléas et risques dans l'analyse géographique*, ANNALES DES MINES, p.61-69., octobre 2005

VEYRET Y., REGHEZZA M., *Vulnérabilité et risques. L'approche récente de la vulnérabilité*, RESPONSABILITÉ & ENVIRONNEMENT N° 43, p.9-14., juillet 2006

IV. Annexes

1. Définitions

Débordement direct de la Loire

La Loire sort de son lit mineur pour occuper son lit majeur, en inondant les quais et leurs rues adjacentes.

Débordement indirect de la Loire

Les eaux remontent à travers les nappes phréatiques, les réseaux d'assainissement et d'eaux pluviales par effet de siphon. Même si le fleuve reste canalisé entre coteaux et levées, des remontées de nappes peuvent inonder caves et sous-sols en rive nord comme en rive sud.

Ruissellement et accumulation dans les points bas

L'accumulation de l'eau est liée à une capacité insuffisante d'infiltration des sols ou d'évacuation du réseau d'eaux pluviales lors de pluies anormales. En secteur urbain, des orages intenses peuvent occasionner un très fort ruissellement. Ce phénomène se présente sous la forme de stagnation d'eaux pluviales. D'autre part, suite à des pluies extrêmement importantes, les réseaux d'assainissement de certains quartier peuvent être saturés.

Destruction de levées

L'augmentation importante du débit de la Loire peut entraîner la rupture d'un ouvrage au niveau d'un point fragilisé : phénomènes qui se sont produits lors des dernières grandes crues du XIXe siècle. Il s'agit d'un phénomène plus grave et imprévisible. Ainsi, le Val d'Orléans serait inondé de façon brutale.

Le ruissellement pluvial urbain

En milieu urbain, il est la conséquence de l'imperméabilisation des sols. Due à sa géographie vallonnée, et lors de précipitations intenses, l'eau ruisselle le long des pentes, inondant les points les plus bas. Dans ces conditions, on observe dans les rues des écoulements rapides des eaux pluviales.

La crue torrentielle

C'est une montée très rapide des eaux pouvant provoquer le débordement d'un cours d'eau. Le Furan qui nous intéresse ici est sujet à ce type de crues dites « rapide ».

Source : DICRIM Orléans

2. Les grandes crues du Val d'Orléans

Année	Débit en amont d'Orléans (en m ³ /s)	Hauteur maximale de la Loire à Orléans (en m)
1846	7 100	6,78
1856	7 200	7,10
1866	7 200	6,92
1907	4 050	5,25

Tableau 23 : Tableau récapitulatif des grandes crues sur la Val d'Orléans

Source : DICRIM Orléans

3. Liste des communes des territoires d'étude

a. Orléans

NOM	CODE INSEE
Bou	45043
La Chapelle-Saint-Mesmin	45075
Chécy	45089
Combleux	45100
Mardié	45194
Olivet	45232
Orléans	45234
Saint-Cyr-en-Val	45272
Saint-Denis-en-Val	45274
Saint-Hilaire-Saint-Mesmin	45282
Saint-Jean-de-Braye	45284
Saint-Jean-de-la-Ruelle	45285
Saint-Jean-le-Blanc	45286
Saint-Pryvé-Saint-Mesmin	45298

Tableau 24 : Communes du territoire d'étude stéphanois

b. Saint-Étienne

NOM	CODE INSEE
L'Etrat	42092
Saint-Christo-en-Jarez	42208
Saint-Étienne	42218
Saint-Priest-en-Jarez	42275
Sorbiers	42302
La Talaudière	42305
La Tour-en-Jarez	42311
Villars	42330

Tableau 25 : Communes du territoire d'étude orléanais

CITERES
UMR 6173
*Cités, Territoires,
Environnement et
Sociétés*

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

Directeurs de recherche :
Andrieu Dominique
SERRHINI Kamal
PALKA Gaëtan



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

Etudiants :
AUCHER Gwendoline
CHENUET Romain

Projet de Fin d'Etudes **DA5 - 2012-2013**

**Vulnérabilité comparée de territoires face à différents aléas d'inondation :
aléa lent pour Orléans et rapide pour Saint-Étienne.**

Résumé :

Ce projet de fin d'étude a pour objectif dans le cadre du projet CEMORAL de comparer la vulnérabilité d'Orléans et de Saint-Étienne, deux territoires en apparence hétérogènes, face à leur aléa d'inondation respectif (lent pour Orléans et rapide pour Saint-Étienne).

Pour ce faire, nous avons mis au point par le biais de réflexions, de recherches bibliographiques et de visites de terrains une démarche de calcul visant à quantifier cette vulnérabilité sur nos deux sites d'étude et cela dans plusieurs secteurs (démographique et économique principalement). Finalement, nous avons abouti à une formule intégrant les différents paramètres de l'aléa d'inondation concerné ainsi que l'enjeu dont nous souhaitons calculer la vulnérabilité (population, nombre d'emplois, d'entreprises et bâtiments).

Cette étude a été réalisée pour chaque terrain d'étude sur une zone résultant du croisement des IRIS et des zones d'aléas afin de localiser les enjeux sur une échelle spatiale plus réduite que la commune.

Mots Clés : vulnérabilité, aléas, inondation, Saint-Étienne, Orléans.