

Projet de Fin d'Etudes (PFE) 2020-2021

Etude du multirisque inondation-karstique dans le Val d'Orléans



Effondrement karstique au sud de la Loire en 2016 (crédits : DEPR)

Etude du multirisque inondation-karstique dans le Val d'Orléans

Kamal Serrhini

Yann Coignard

2020-2021

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, Projet de Fin d'Etudes en génie de l'aménagement et de l'environnement

La formation au génie de l'aménagement et de l'environnement, assurée par le département aménagement et environnement de l'Ecole Polytechnique de l'Université de Tours, associe dans le champ de l'urbanisme, de l'aménagement des espaces fortement à faiblement anthropisés, 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 et de l'environnement 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 Dynamiques et Actions Territoriales et Environnementales de l'UMR 7324 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 sur la base du Système Universitaire de Documentation (SUDOC), les mémoires à partir de la mention bien.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier mon tuteur Kamal Serrhini pour son implication et sa bienveillance à mon égard.

SOMMAIRE

Table des matières

Introduction : plans de prévention et multirisque.....	7
Le Val d'Orléans	9
Contexte de l'étude.....	9
L'aléa inondation.....	10
L'aléa karstique	12
Problématique.....	14
Etat de l'art	15
Etude du multirisque dans le Val d'Orléans.....	16
Protocole.....	16
L'aléa inondation.....	17
L'aléa karstique	17
Le multi-aléa inondation-karstique	19
La multi vulnérabilité inondation-karstique	20
Le multirisque inondation-karstique	22
Bibliographie	23

Introduction : plans de prévention et multirisque

Dans le but de protéger la population des nombreux aléas naturels (inondations, tremblements de terre, ...) et technologiques (accidents industriels, nucléaires, ...) auxquels elle peut être exposée, l'Etat français développe des Plans de Prévention des Risques (PPR). Ces derniers ont pour objectif de recenser les zones soumises à des aléas et les sources de vulnérabilités (habitations, entreprises, infrastructures de transport, services publics, ...) présentent dans ces zones afin de lister l'ensemble des risques qui pèsent sur ces territoires, et in fine de mettre en place des mesures préventives (en amont de l'occurrence d'un aléa) ou de réponse à l'urgence (pendant ou juste après la survenue de l'aléa) pour réduire les risques encourus par la population vivant dans ces zones, mais aussi, réduire les risques qui pèsent sur des choses non matérielles tel que la santé économique d'un territoire.

Le plus connu de ces PPR est probablement le Plan de Prévention des Risques Inondation (PPRI), il répertorie les zones menacées par des inondations, ainsi que les mesure pour réduire les risques dus à ces inondations. Le PPRI a un impact fort dans l'aménagement des territoires, puisqu'il agit directement sur les Plans Locaux d'Urbanismes (PLU). Il permet en effet de définir des zones non constructibles, ou constructibles sous conditions. Concrètement, la stratégie du PPRI est de supprimer les vulnérabilités (population, entreprises, infrastructures, etc...) se trouvant en zones inondables pour faire disparaître les risques, ou de travailler sur la résilience de ces constructions pour réduire les risques.

Mais si ces Plans de Préventions des Risques sont efficaces, et ont déjà pour certains fait leurs preuves, ils sont cependant frappés par un biais important qui peut mettre à mal leur performance : ces plans ne traitent des risques qu'individuellement, alors que les aléas menant à ces risques peuvent être multiples et liés entre eux.

Il est en effet aisé d'imaginer qu'une catastrophe naturelle puisse entraîner un incident industriel grave, l'exemple de l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima au Japon, pour ne citer que lui, est marquant, de par les conséquences qui en ont découlé (pollution, abandon forcé du territoire par ses habitants pour des décennies, ...).

Mais des événements naturels peuvent aussi engendrer d'autres événements naturels, ou tout du moins les exacerber, c'est ce que nous verrons ici au travers de l'exemple du Val d'Orléans, qui cumule des aléas d'inondations et d'effondrements karstiques. Nous montrerons que les inondations sont un catalyseur des effondrements et qu'il est par conséquent nécessaire d'étudier les deux aléas ensemble afin de bâtir un plan de prévention du multirisque inondation-karstique.

Ce thème du multirisque, a été pendant longtemps méconnu, par manque de connaissances scientifiques principalement. Mais il prend depuis quelques années de l'ampleur dans le monde scientifique tout du moins, qui a réussi à identifier les relations entre les différents aléas existant, à les modéliser, et de plus en plus à les prévoir.

Cependant, si le sujet a énormément progressé chez les scientifiques, son application généralisée dans les politiques publiques prendra encore du temps. V. Galina rappelle tout de même que plusieurs études européennes sur le multirisque sont déjà en cours telle que CLUVA (CLimate change and Urban Vulnerability in Africa). Une généralisation de ces études plus fine des risques, et donc des multirisques auxquels sont soumis les territoires, permettrait d'être mieux préparé à des événements complexes, à mieux planifier des évacuations et une réponse efficace à ces crises, et enfin, parce que c'est finalement peut-être l'objectif principal d'un Plan de Prévention des Risques, à sauver des vies.

Mais qu'est-ce donc finalement que ce multirisque ? Le mot peut tout d'abord être décomposé en deux parties : multi, qui signifie nombreux, beaucoup et risque.

Le risque quantifie et classe les conséquences potentielles d'un événement dangereux sur les zones étudiées en combinant les notions d'aléa, d'exposition et de vulnérabilité. Il peut être exprimé en termes probabilistes ou relatifs / semi-quantitatifs (V. Galina et al. 2016).

Le multirisque fait donc référence au risque découlant de multiples aléas, et des interactions entre ces aléas, on parle alors de multi-aléa. Il peut être de nature économique, écologique, sociale, ... (V. Galina et al. 2016).

Pour préciser cette définition du multirisque, il convient de préciser les définitions d'aléas et de vulnérabilité et plus particulièrement de multi-aléa et de multi-vulnérabilité qui sont à l'origine de ces multirisques.

Un aléa est un phénomène physique naturel ou industriel qui peut être lié au changement climatique ou non (ex: élévation du niveau de la mer, ondes de tempête, inondations, effondrements karstiques) qui a le potentiel de causer des dommages et des pertes aux biens, aux infrastructures, aux moyens de subsistance, aux services et aux ressources environnementales (V. Galina et al. 2016). Il est important de noter que « des aléas identiques peuvent avoir des conséquences très différentes selon l'époque et la société considérée » (White, 1973 ; Burton et al., 1978).

Un multi-aléa est un ensemble d'aléas menaçant les mêmes territoires pouvant se produire au même moment ou se succédant en peu de temps, ce que l'on appelle effet de cascade (V. Galina et al. 2016).

Une vulnérabilité est la propension ou la prédisposition d'une communauté ou d'un système à être affecté par un certain aléa. Au sens large, il inclut les aspects économiques, sociaux, géographiques, démographiques, culturels, institutionnels, de gouvernance et environnementaux (V. Galina et al. 2016).

Une multi-vulnérabilité est donc une variété de cibles sensibles (population, infrastructures, patrimoine culturel, ...) exposées avec un degré de vulnérabilité différent face aux divers aléas, ces vulnérabilités dépendant du temps (elles peuvent apparaître et disparaître périodiquement) (V. Galina et al. 2016).

Le but de ce document est de s'intéresser à la question de la gestion des risques en France, et en particulier sur notre zone d'étude du Val d'Orléans. Nous montrerons l'intérêt de la prise en compte du multirisque dans les Plans de Prévention des Risques, notamment en montrant les implications d'une telle approche sur l'évacuation de la population.

Le Val d'Orléans

Contexte de l'étude

Le site d'étude est le Val d'Orléans, et plus précisément la métropole Orléanaise, ce territoire de plus de 600 km² regroupe 31 communes représentant près de 290 000 habitants. Depuis 2018, le projet PERCIVAL (« PErception des Risques d'effondrements liés aux Cavités et associés aux Inondations en Val de Loire ») financé par la région Centre-Val de Loire regroupe :

- des acteurs scientifiques et académiques :
 - le BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières)
 - le laboratoire CITERES (Cités Territoires Environnement et Sociétés)
 - l'IRSTEA (Institut national de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture)
- des acteurs non académiques :
 - DREAL Centre-Val de Loire (Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement)
 - Orléans Métropole
 - Centre Sciences
- des acteurs institutionnels :
 - DDT 45 (Direction Départementale des Territoires du Loiret)
 - INERIS (Institut national de l'environnement industriel et des risques)
 - CEREMA (Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement)
 - Etablissement Public Loire
 - CEPRI (Centre européen de prévention des risques d'inondation)
 - SNCF
 - Cofiroute

Tous ces acteurs ont pour objectif de définir les risques engendrés par les aléas inondations et karstiques qui pèsent sur le Val d'Orléans. Ce projet a vu le jour à la suite des inondations exceptionnelles de mai-juin 2016. Une centaine de routes avaient alors été coupées ou rendues impraticables dans le département du Loiret, piégeant ainsi de nombreux véhicules et leurs usagers qu'il avait fallu secourir, l'électricité avait été coupée dans plus de 6000 foyers, l'eau potable rendu impropre à la consommation dans de nombreux endroits, enfin, plus de 1000 personnes avaient dû être évacuées temporairement de chez elles.

Le nombre d'effondrements karstiques fut particulièrement important pendant cette période, bien supérieur à la moyenne. Un effondrement avait eu lieu sur l'autoroute, un véhicule de secours était tombé dans un gouffre masqué par l'eau, d'autres lieux stratégiques ont été concernés par ces effondrements, imprimant ainsi leurs marques dans la conscience collective.

Le pire scénario, serait celui d'un effondrement karstique sous une digue en bord de Loire, qui pourrait entraîner une inondation brutale, et probablement mortelle, d'une partie du Val d'Orléans. D'autant plus que ce scénario est très probable, étant donné que plus on se rapproche de la Loire, et plus le risque d'effondrement est élevé, comme nous le montrerons plus tard. D'où l'intérêt du projet PERCIVAL pour tenter d'éviter une catastrophe dans le futur.

L'aléa inondation

Comme de nombreux territoires en bord de cours d'eau, le Val d'Orléans est soumis à des inondations régulières. Les crues de la Loire sont lentes, ce qui offre l'avantage de permettre une bonne prévision de la montée des eaux et ainsi d'opérer une évacuation ordonnée de la population menacée. Ce risque bien connu a déjà bien été étudié par le passé, la documentation historique est fournie, le niveau de la Loire est surveillé en permanence et le territoire s'est doté d'un PPRI.

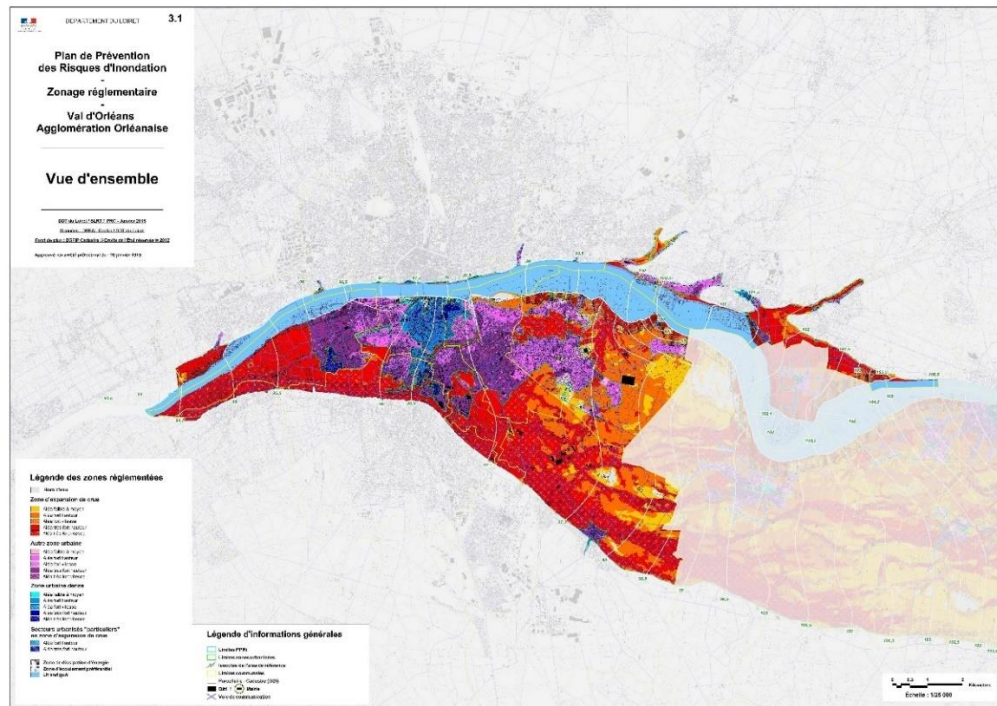


Figure 1 : Extrait du Plan de Prévention du Risque Inondation du Val d'Orléans

Cette carte nous permet de visualiser facilement quels sont les secteurs concernés par le risque d'inondation, elle classe de plus le risque en niveaux faible, moyen, fort, très fort, qui correspondent à des critères de vitesses du courant et hauteur d'eau. On constate que les aléas les plus élevés, en couleur foncées, sont très majoritaires sur ce secteur du Val d'Orléans, le risque inondation pour ce territoire est donc très important.

Ce document est très important, notamment pour définir un plan d'action et d'évacuation en cas d'inondation, c'est le Plan Communal de Sauvegarde.

La carte proposée ci-dessous met en avant les communes les plus touchées par les inondations, ce classement a été réalisé en pourcentage de la commune située en zone inondation, en ne prenant aucun autre paramètre que cette superficie.

Ce document expose visuellement l'importance du phénomène inondation dans le Val d'Orléans, ainsi sur les 31 communes au total, 14 (soit 45 %) ont au moins 75 % de leur territoire situé en zone inondable, dont 11 communes (35 %) entièrement situées en zone inondable.

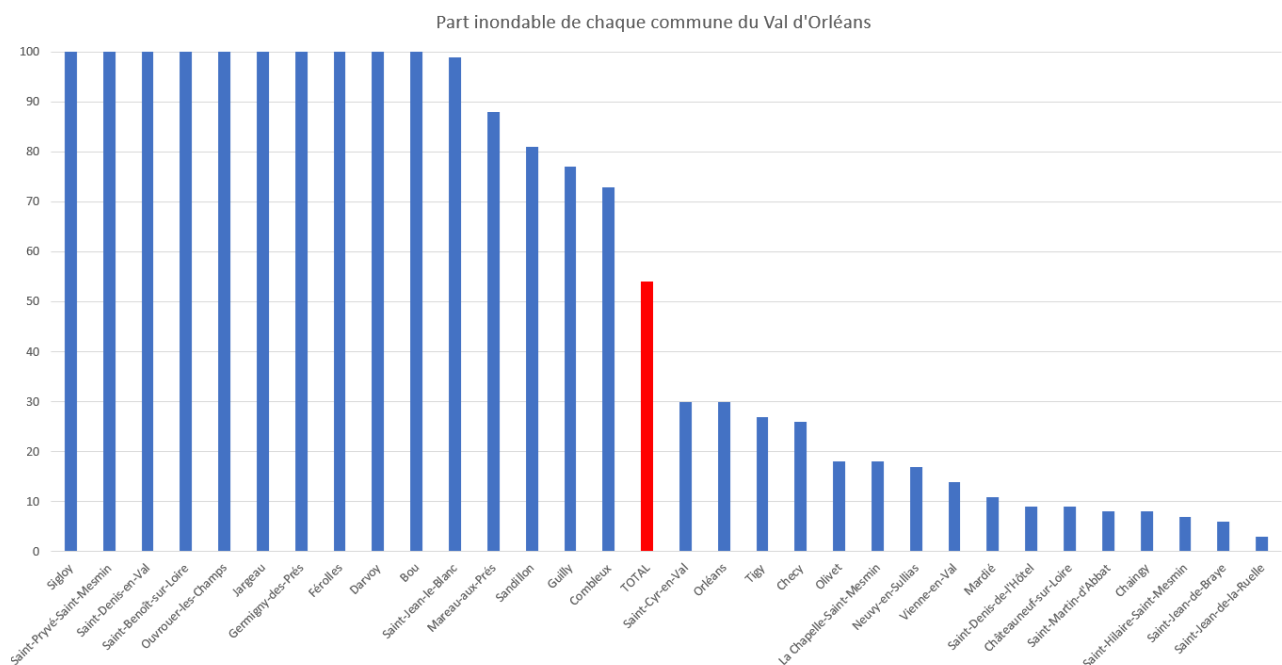


Figure 3 : Graphique de la part inondable de chaque commune en Val de Loire

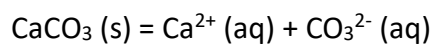
Ce graphique est une représentation sous forme d'histogramme de la carte vue plus haut (Figure 2), avec la valeur pour la totalité du Val d'Orléans identifiée en rouge. On constate deux grandes tendances sur le territoire, les communes très largement, voir entièrement, situées en zone inondable, et les autres communes dont moins de 30 % du territoire est situé en zone inondable. Enfin, on remarque que 54 % du Val d'Orléans est situé en zone inondable.

Mais cette première analyse de l'aléa ne suffit pas, il faut mettre en perspective les différentes vulnérabilités (populations, infrastructures, ...) de notre territoire pour obtenir une carte des risques, c'est ce que nous chercherons à déterminer au travers de notre démarche multirisque.

L'aléa karstique

En plus de cet aléa inondation bien connu par les habitants du Val d'Orléans, il existe l'aléa karstique, invisible en surface, qui n'apparaît que lorsqu'un effondrement karstique se produit, c'est-à-dire un effondrement du sol qui génère un gouffre observable depuis la surface.

Cet aléa est dû à la formation de galeries souterraines, creusées par l'eau qui circule dans le sol calcaire de la région selon la réaction chimique de dissolution suivante :



Sur des périodes très longues, plusieurs milliers d'années, on voit donc se former des galeries dans le sol de tout le Val d'Orléans. Le Loiret, qui prend sa source dans le Val d'Orléans, est en réalité une résurgence de la Loire qui coule dans une de ces galeries souterraines. Cette résurgence se produit à plus de 5km du lit de la Loire, c'est dire l'étendue de ce réseau souterrain !

A force de se creuser, ces galeries peuvent provoquer des effondrements, que l'on qualifie donc de d'effondrements karstiques. Comme le montre le schéma ci-dessous, le toit des galeries peut s'effondrer ce qui peut entraîner l'apparition immédiate ou différée d'un gouffre dans le sol.

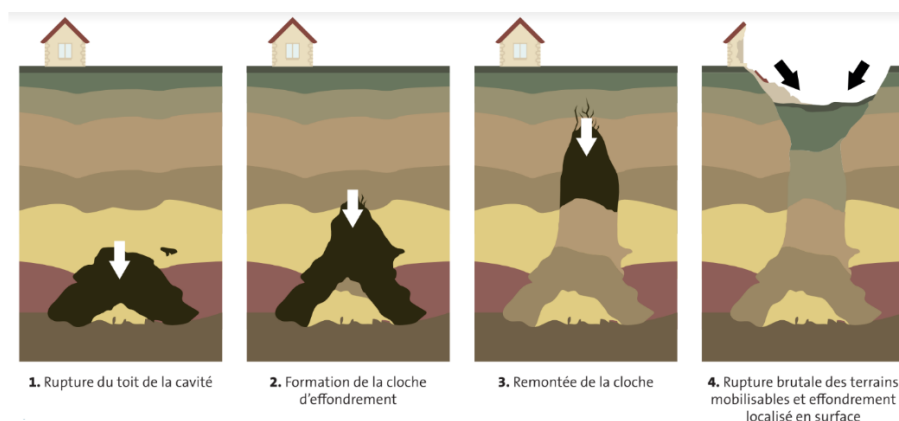


Figure 4 : Document du BRGM expliquant le processus menant à un effondrement

On peut assister à deux phénomènes selon les caractéristiques physiques du terrain :

- Affaissement : terrain souple, le sol se creuse petit à petit sans rompre et fini par former une doline, c'est-à-dire une zone creuse. L'affaissement est progressif, ce qui laisse le temps d'évacuer les populations à risque, en revanche les dégâts sont importants.
- Effondrement : terrain non souple, lorsqu'il y a rupture du toit d'une galerie karstique, le sol s'abaisse brutalement, laissant apparaître un gouffre de plusieurs mètres de profondeur, et parfois sur une superficie de plusieurs hectares. Les constructions situées sur les effondrements sont complètement détruites, ces événements sont souvent mortels, surtout s'ils surprennent les riverains dans leur sommeil.

On a donc vu que les galeries, dans lesquelles circulent l'eau de la Loire, provoquent des effondrements. On peut donc légitimement supposer que lorsque survient une crue, il y a plus d'eau qui circule dans les galeries souterraines car les nappes d'eau sont plus hautes, et par conséquent que la dissolution du calcaire est plus importante, et finalement qu'il y a plus d'effondrements qu'en temps normal. Cette hypothèse est vérifiée de 2 manières :

- Il y a plus d'effondrements pendant les périodes de crue (crues exceptionnelles de mai-juin 2016)
- Il y a plus d'effondrements en bord de Loire, là où il y a plus d'eau qui circule dans les galeries

Cette hypothèse est de plus validée par Joel C. Gill et Bruce D. Malamud dans leur article *Hazard interactions and interaction networks (cascades) within multi-hazard methodologies* publié en 2016 dans la revue Earth System Dynamics. Cet article recense les interactions entre de très nombreux aléas et précise effectivement que les inondations augmentent le risque d'effondrements du sol et inversement.

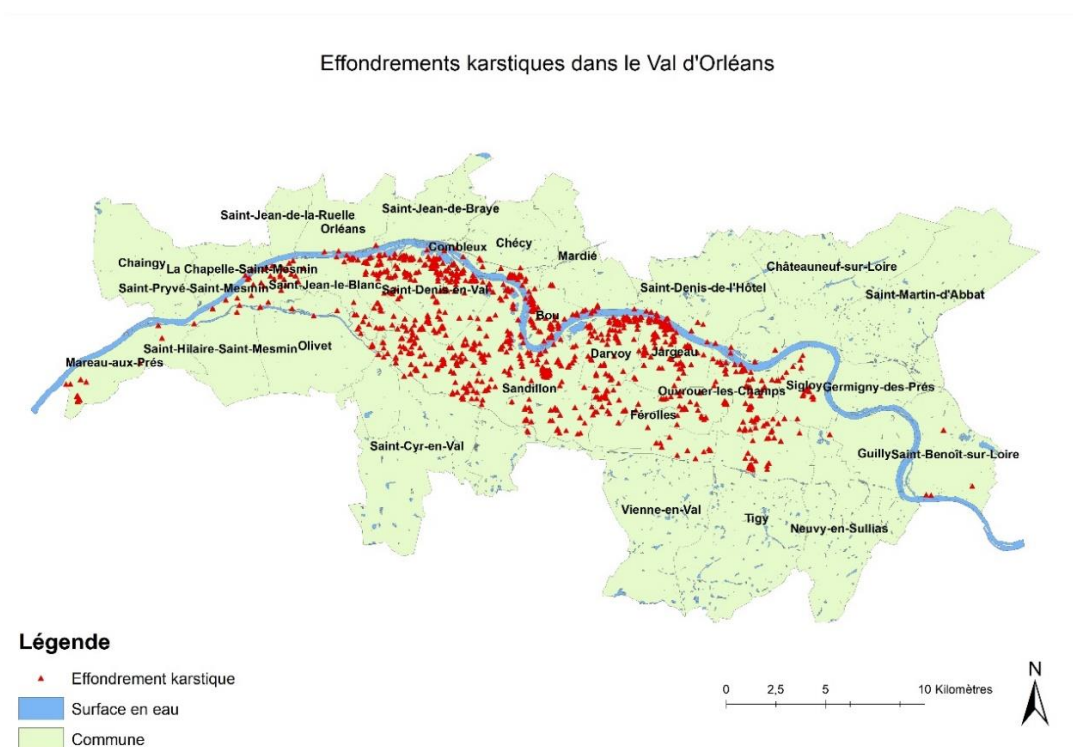


Figure 5 : Carte des effondrements karstiques recensés dans le Val d'Orléans

Cette carte représente tous les effondrements recensés dans le Val d'Orléans, on peut remarquer visuellement que les effondrements ont l'air d'être plus concentrés près de la Loire et moins concentrés lorsqu'on s'éloigne de la Loire. On peut vérifier ce jugement grâce à l'histogramme ci-dessous, qui représente le nombre d'effondrements karstiques par rapport à la distance à la Loire. La courbe ainsi formée semble prendre une forme exponentielle décroissante.

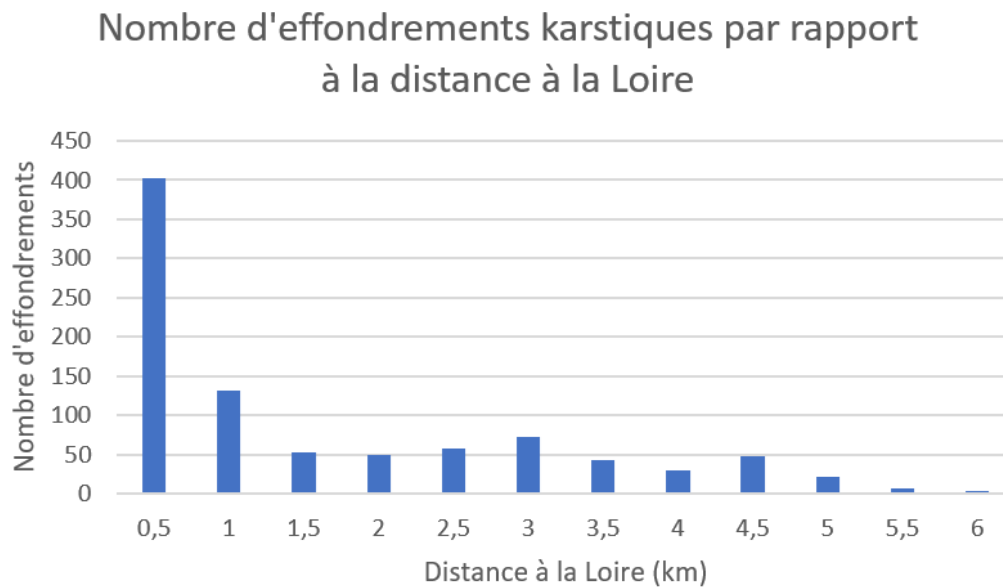


Figure 6 : Nombre d'effondrements karstiques par rapport à la distance à la Loire

Problématique

Ainsi, la présentation du site d'étude met en avant la sensibilité du Val d'Orléans aux inondations, déjà bien connue puisque répertorié dans le PPRI du Val d'Orléans, et aux effondrements karstiques, dont l'existence est connue de la population au travers des médias lorsque se produisent d'importants effondrements, mais qui sont encore trop peu pris en compte par les institutions. En effet, ces risques d'effondrements sont évoqués dans les Document d'Information Communal sur les Risques Majeurs (DICRIM) de certaines communes seulement, et il n'existe pas de document équivalent au PPRI pour le risque karstique.

De plus, nous avons montré qu'il existait des interactions entre ces deux aléas. Il semble donc premièrement essentiel d'étudier l'aléa karstique dans le Val d'Orléans et surtout de réaliser une étude du multirisque inondation karstique.

Comment crée-t-on une carte représentant le multirisque inondation karstique ? Qu'est-ce que cela implique par rapport à une prise en compte des mono-risques ?

Etat de l'art

D'après Joel C. Gill et Bruce D. Malamud dans leur article *Hazard interactions and interaction networks (cascades) within multi-hazard methodologies*, il faut prêter plus d'attention à l'étude des multi-aléas, qui sont peu ou pas étudiés aujourd'hui. Leur synthèse explique pourtant que seule une étude du multi-aléa, et in fine, du multirisque, permet de mettre en place de bons plans de prévention et de gestion des crises, et ainsi de ne pas accroître les vulnérabilités d'un territoire, et d'éviter des catastrophes, humaines notamment. Ils réalisent une étude très poussée du multirisque à travers une méthode en trois étapes :

- Catégorisation et définition de trois groupes de risques (naturels, anthropiques, technologiques)
- Description des interactions entre ces risques (déclenchement, probabilité, impédence)
- Evaluation de l'importance de ces interactions, de l'effet de cascade

De leur travail résulte une matrice des interactions entre tous les types d'aléas existants, du type d'interaction (exemple : la réciprocité), et de l'intensité de cette relation.

Leur travail permet non seulement de justifier de l'importance de réaliser une étude multirisque, mais justifie aussi l'étude spécifique de l'interaction entre les aléas inondation et karstique dans le Val d'Orléans.

Pour réaliser notre étude du multirisque dans le Val d'Orléans, nous nous référons à la méthode exposée par V. Galina, S. Torresan, A. Critto, A. Sperotto, T. Glade et A. Marcomini en 2016 dans leur article *A review of multi-risk methodologies for natural hazards : Consequences and challenges for a climate change impact assessment* dans la revue *Journal of Environmental Management*.

Il existe d'après cet article deux manières d'étudier le multirisque, ces deux méthodologies peuvent être représentées facilement à l'aide de schémas.

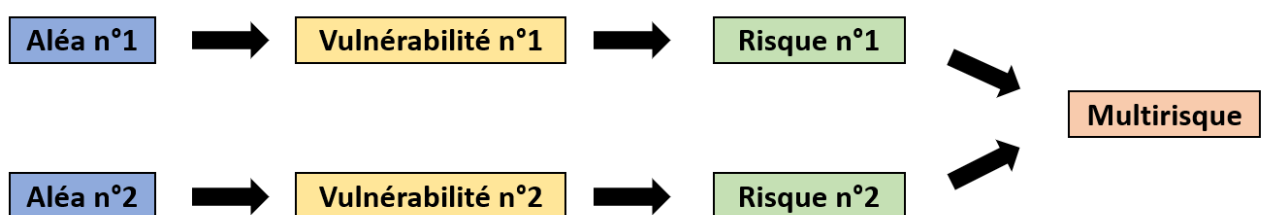


Figure 7 : Méthodologie n°1 de l'étude des multirisques

Dans cette première méthodologie, on conserve la manière actuelle d'étudier le risque, c'est-à-dire qu'on étudie tout d'abord l'aléa, puis la vulnérabilité liée à cet aléa, enfin les risques qui pèsent sur ces vulnérabilités. On répète ce processus autant de fois qu'il existe d'aléa et c'est seulement à la fin, une fois tous les risques étudiés et évalués, que l'on étudie le multirisque. Cette méthode possède l'avantage d'utiliser un processus déjà éprouvé (aléa -> vulnérabilité -> risque) mais n'est pas aussi précise que la seconde méthode que nous exposerons ci-après. Cette technique aboutit finalement à un croisement possiblement maladroit des risques et non pas à une analyse multirisque. La nouvelle méthode d'analyse du multirisque proposée ci-dessous corrige ce biais.

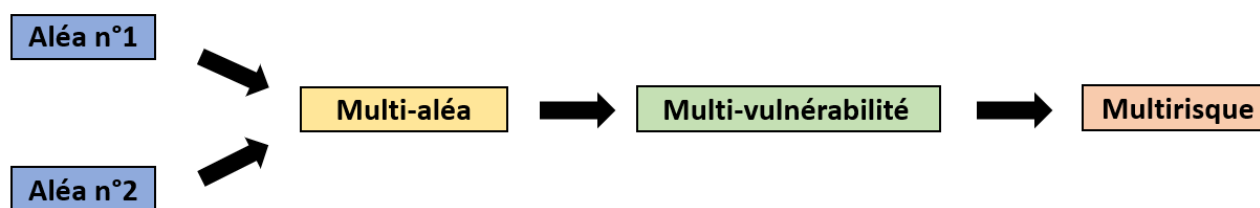


Figure 8 : Méthodologie n°2 de l'étude des multirisques

Cette méthode d'analyse du multirisque quant à elle, s'appuie sur une analyse multiple dès le début du processus. Concrètement, on définit le multi-aléa dès le début à partir de l'étude de chaque aléa pris individuellement. Le reste de la démarche est analogue à l'étude classique d'un risque, à la différence que l'on travaille sur des multi-vulnérabilités puis enfin sur des multirisques.

Cette méthode a déjà été utilisée dans des cas concrets, c'est-à-dire pour de vraies études des multirisques, notamment dans le Péloponnèse en Grèce, cette étude réalisée par George D. Bathrellos, Hariklia D. Skilodimou, Konstantinos Chousianitis, Ahmed M. Youssef et Biswajeet Pradhan, intitulée *Suitability estimation for urban development using multi-hazard assessment map* débute à partir de cartes des différents aléas auxquels est soumis la région : glissements de terrains, effondrements, secousses sismiques.

Les interactions entre ces aléas sont ensuite étudiées pour produire une carte du multi-aléa. Ce qui a permis finalement de réaliser une carte des zones les plus propices à l'habitat et à la construction de nouveaux logements.

Le même procédé a été utilisé pour une étude multirisque en Iran. Réalisée en 2019 par Hamid Reza Pourghasemi, Amiya Gayen, Mahdi Panahi, Fatemeh Rezaie et Thomas Blaschke, cette étude utilise le même procédé que pour la précédente dans le Péloponnèse mais appliqué à la Province de Lorestan dans l'Ouest de l'Iran. Les aléas étudiés étaient les mêmes que pour le Péloponnèse : glissements de terrains, effondrements, secousses sismiques.

Etude du multirisque dans le Val d'Orléans

Protocole

C'est cette dernière méthode détaillée précédemment (Figure 8) que nous allons suivre pour produire une carte du multirisque inondation-karstique du Val d'Orléans, nous allons donc tout d'abord réaliser les cartes des deux aléas inondations et karstiques pour représenter les expositions à chaque aléa.

A partir de ces cartes des aléas nous réaliserons la carte du multi-aléa inondation-karstique. S'en suivra une étude des multi vulnérabilités à ce multi-aléa axée sur les populations et les bâtiments se situant en zone d'aléa. Enfin, nous réaliserons la carte du multirisque.

L'aléa inondation est classé en 4 catégories : faible, moyen, fort et très fort. Qui correspondent à différents niveaux de vitesses du courant et de hauteur d'eau. On possède déjà ces données, puisque le Plan de Prévention des Risques d'Inondation (PPRI) existe déjà dans le Val d'Orléans. Ces données ont été mise en forme sur la carte suivante, c'est la carte de l'aléa inondation, que l'on va utiliser plus tard pour réaliser la carte du multi-aléa.

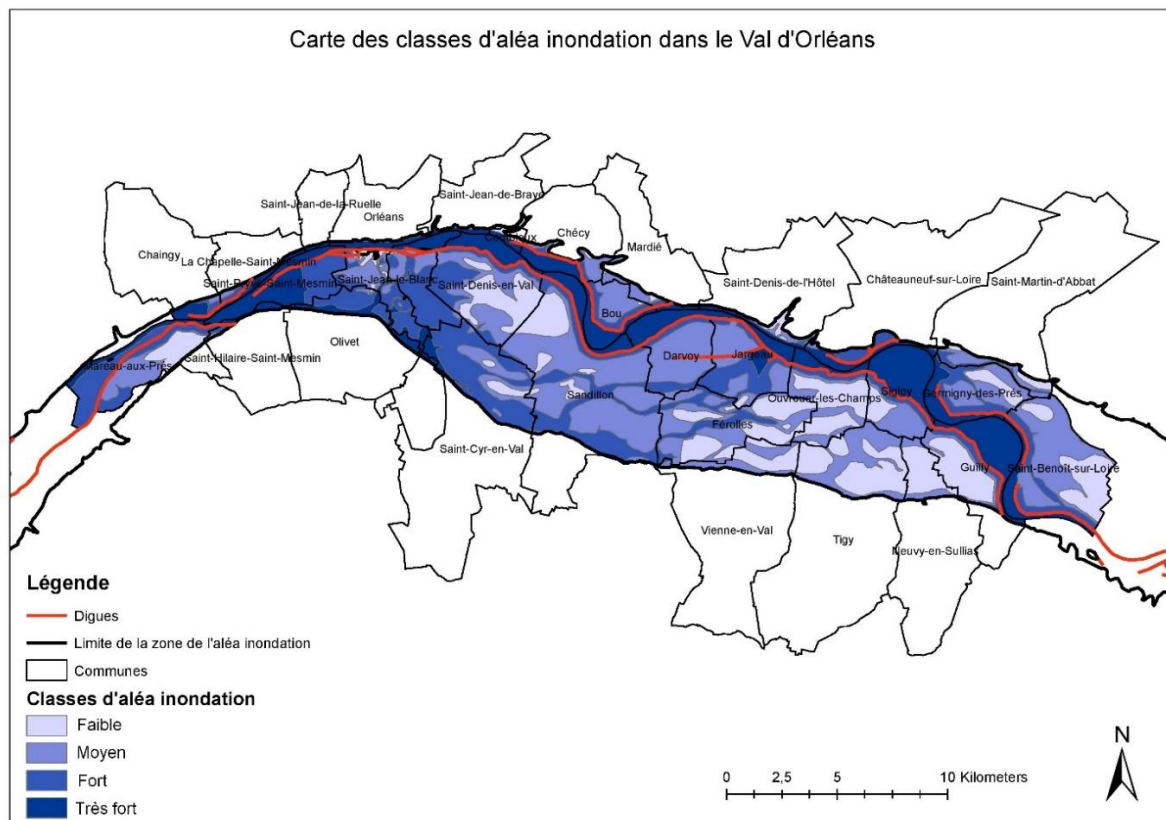


Figure 9 : Carte des classes d'aléa inondation dans le Val d'Orléans

L'aléa karstique

A partir de l'ensemble des effondrements karstiques recensés dans le Val d'Orléans on peut établir la carte de l'aléa karstique. On va pour cela utiliser la triangulation de Delaunay avec l'outil TIN (Triangulated Irregular Network) d'ArcGIS qui permet d'évaluer la densité d'effondrements ayant eu lieu en chaque endroit du Val d'Orléans et ainsi de d'attribuer des classes d'aléa allant de 1 à 4 (faible, moyen, fort, très fort) de la même manière que pour l'aléa inondation.

Le résultat brut obtenu a été traité avec un filtre afin de supprimer une grande partie des « irrégularités » de la carte, c'est-à-dire de très petits polygones d'une classe d'aléa au milieu d'un grand polygone d'une autre classe d'aléa (voir exemple ci-dessous en Figure 10), ce qui permet d'obtenir une carte beaucoup plus claire à la lecture.

Ce filtrage utilise la technique des pixels majoritaires de proche en proche sur un fichier raster des classes d'aléa karstique. Cette technique permet ainsi de changer la valeur de la classe d'aléa d'un pixel si les pixels qui l'entourent possèdent tous une autre valeur, la même entre eux.

Ce filtrage a été effectué 5 fois, ce qui a permis de faire disparaître les plus petites irrégularités, tout en gardant une carte des aléas karstiques très précise.

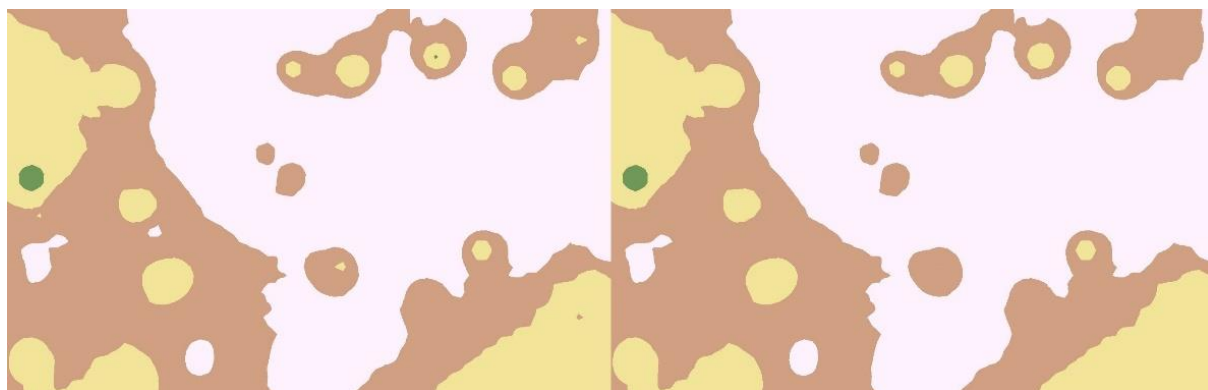


Figure 10 : Comparaison avant/après filtration des classes d'aléa karstique

On obtient finalement la carte suivante :

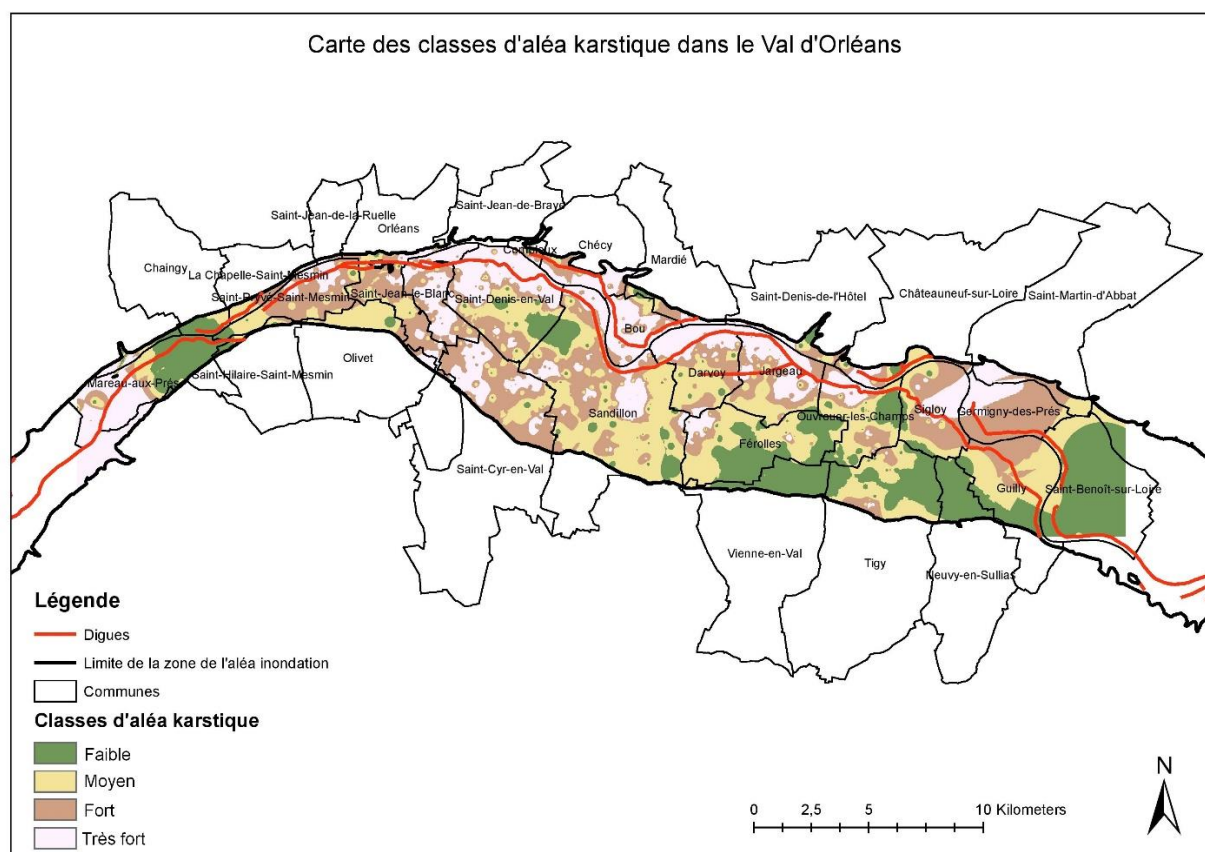


Figure 11 : Carte des classes de l'aléa karstique dans le Val d'Orléans

La Loire apparait en classe maximale puisque c'est logiquement l'endroit où circule le plus d'eau et qui est donc le plus soumis aux effondrements. On constate que le multi-aléa karstique fort et très fort sont les plus présent à l'Ouest, dans le secteur entre la Loire et la source du Loiret, ce qui est cohérent avec le fait que, comme nous l'avons dit, l'eau du Loiret provient directement de la Loire, qui est passée par les galeries souterraines avant de resurgir à la surface.

Le multi-aléa inondation-karstique

On possède donc désormais les cartes des deux aléas. On a des classes d'aléa allant de 1 à 4 pour les inondations et pour les effondrements karstiques. On multiplie les niveaux d'aléas pour chaque zone afin de créer une nouvelle échelle pour le multi-aléa selon le modèle suivant :

Classe d'aléa inondation	Classe d'aléa karstique	Multiplication	Classe du multi-aléa
1	1	1	1
	2	2	1
	3	3	1
	4	4	1
2	1	2	1
	2	4	1
	3	6	2
	4	8	2
3	1	3	1
	2	6	2
	3	9	3
	4	12	3
4	1	4	1
	2	8	2
	3	12	3
	4	16	4

Figure 12 : Tableau permettant de définir la classe du multi-aléa

On obtient finalement la carte suivante :

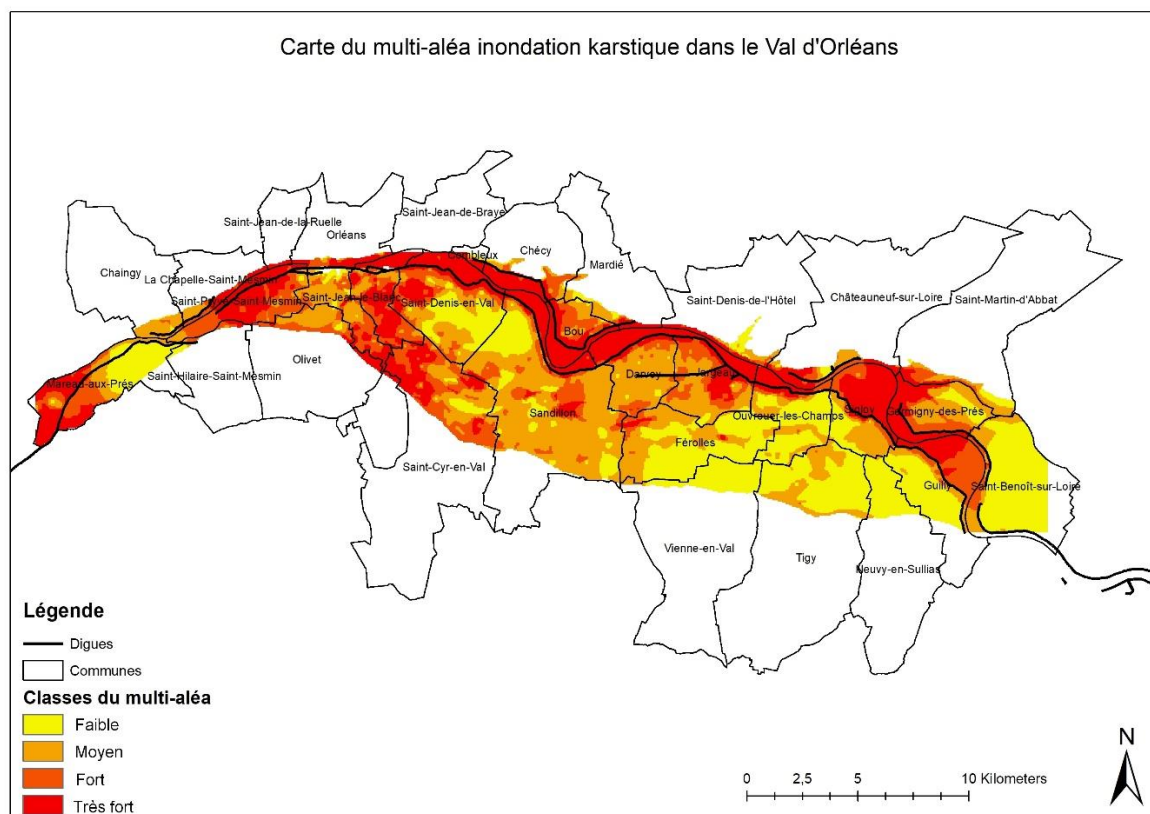


Figure 13 : Carte du multi-aléa inondation-karstique dans le Val d'Orléans

On observe que le tracé de la Loire apparaît en multi-aléa très fort puisqu'il est concerné par les deux aléas avec une classe 4 très fort. On observe de plus une zone de fort niveau de multi-aléa dans l'Ouest du Val, dans le secteur d'Orléans, là où, nous l'avons déjà dit, l'eau de la Loire circule pour alimenter le Loiret.

La multi vulnérabilité inondation-karstique

On sait donc aujourd'hui où se produisent les différents aléas qui menacent le Val d'Orléans, et à quelle classe d'intensité appartiennent les différentes zones du Val. Il reste désormais à évaluer les vulnérabilités qui existent dans le Val. En effet, si les inondations ou les effondrements touchent des zones non habitées avec peu ou pas d'activité humaine, il n'existe à priori pas de forte vulnérabilité humaine.

On s'intéressera ici à deux vulnérabilités majeures : les bâtiments de manière indifférenciée (habitations, entreprises, administrations, écoles, services publics, ...) et la population.

Cette carte permet de donner un premier aperçu des bâtiments soumis aux différents niveaux de multi-aléa du Val d'Orléans.

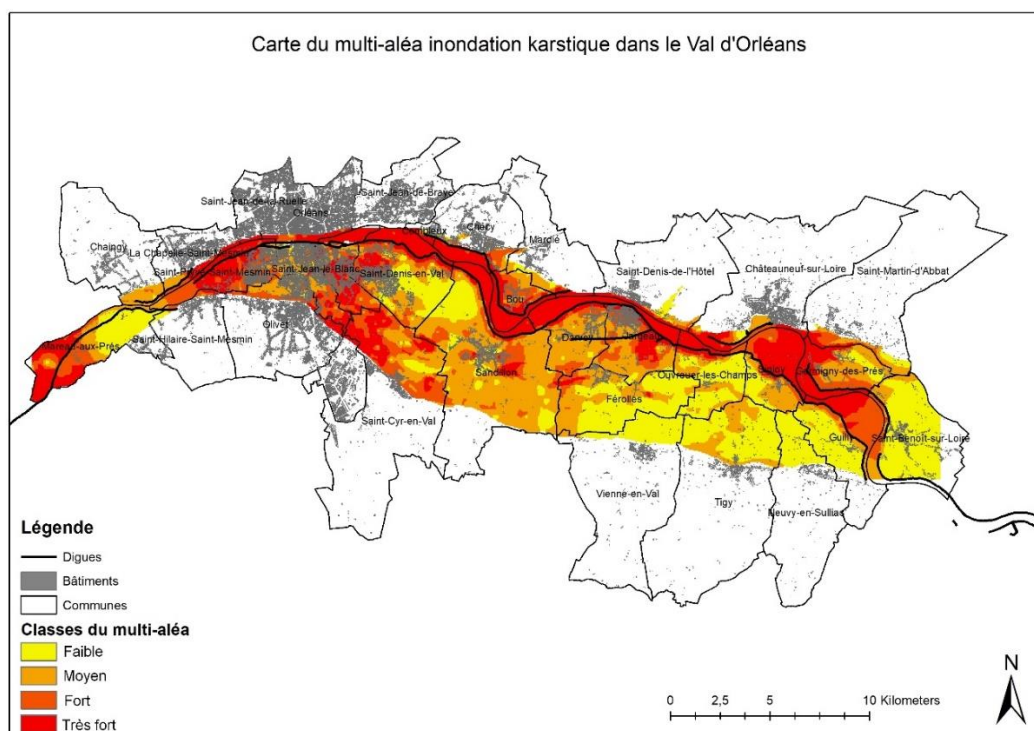


Figure 14 : Carte du multi-aléa inondation-karstique et des bâtiments dans le Val d'Orléans

Visuellement, on constate déjà que le nombre de bâtiments situés dans la zone de multi-aléa est élevé. On va désormais quantifier cette observation :

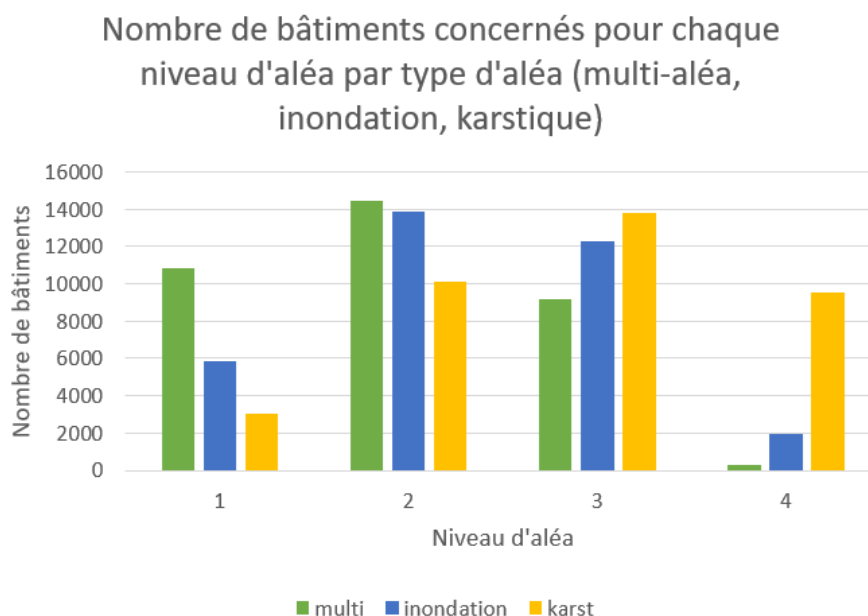


Figure 15 : Nombre de bâtiments situés dans chaque classe d'aléa selon le type d'aléa

La démarche multi-aléa modifie grandement le nombre de bâtiments dans chaque classe d'aléa par rapport à chacun des aléas inondation et karstique. On constate qu'il y a beaucoup plus de bâtiments dans les aléas faible et moyen (1 et 2) par rapport à chacun des aléas pris individuellement, et par conséquent beaucoup moins de bâtiments situés dans des multi-aléas fort ou très fort.

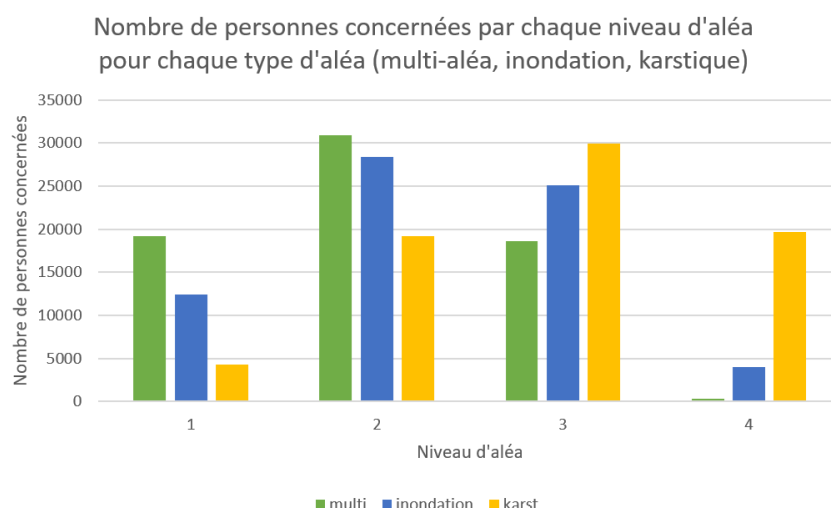


Figure 16 : Nombre de personnes habitant dans chaque classe d'aléa selon le type d'aléa

On observe logiquement le même phénomène pour la population que pour les bâtiments, puisque la majorité d'entre eux sont des habitations. Cette étude permet de quantifier assez précisément le nombre de places qu'il faut prévoir dans les centres d'évacuations et d'hébergement en fonction des aléas observés, les moyens à allouer à cette évacuation, et l'ordonnancement de ces évacuations, c'est-à-dire quels secteurs évacuer en premiers.

Le multirisque inondation-karstique

En croisant la carte du multi-aléa avec la couche des bâtiments, on obtient la carte du multirisque suivante :

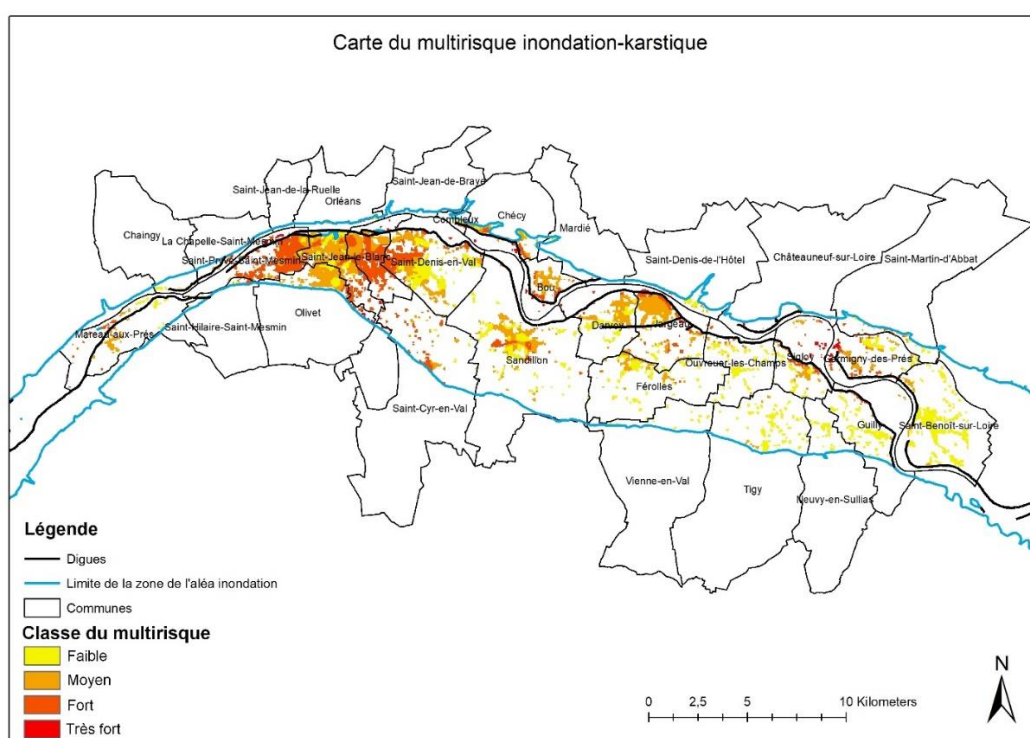


Figure 17 : Carte du multirisque

Bibliographie

Valentina Gallina et al. *A review of multi-risk methodologies for natural hazards: Consequences and challenges for a climate change impact assessment*. Journal of Environmental Management. 2015.

Bureau de recherches géologiques et minières. *Dossier enjeux des géosciences*. Juillet 2017.

George D. Bathrellos et al. *Suitability estimation for urban development using multi-hazard assessment map*. Science of the Total Environment. 2016.

Hamid Reza Pourghasemi et al. *Multi-hazard probability assessment and mapping in Iran*. Science of the Total Environment. 2019.

Joel C. Gill and Bruce D. Malamud. *Hazard interactions and interaction networks (cascades) within multi-hazard methodologies*. Earth System Dynamics. Août 2016.

Bibliographie complémentaire :

Yvette Veyret, Magali REGHEZZA. *Vulnérabilité et risques : L'approche récente de la vulnérabilité*. Responsabilité & Environnement n° 43. Juillet 2006.

Melanie S. Kappes et al. *Challenges of analyzing multi-hazard risk: a review*. Juillet 2012.

Pierre Thierry et al. *Multi-hazard risk mapping and assessment on an active volcano: the GRINP project at Mount Cameroon*. Novembre 2007.

Hariklia D. Skilodimou et al. *Multi-hazard assessment modeling via multi-criteria analysis and GIS: a case study*. Janvier 2019

Directeur de recherche :

Kamal Serrhini

Yann Coignard

PFE/DAE5

RESEAU

2020-2021

Multirisque : inondation et karstique

Résumé :

Si aujourd'hui des Plans de Préventions des Risques permettent de mieux appréhender les risques d'origine naturelle ou humaine, et de réduire les risques qui pèsent sur la population, les infrastructures, les services publics, ... Ils ne sont pas encore suffisants, ils souffrent en fait d'un biais important qui pourraient avoir de graves conséquences. En effet, les aléas sont traités individuellement, alors qu'en réalité, ces aléas interagissent souvent entre eux, c'est le cas des inondations dans le Val d'Orléans qui augmentent la fréquence des effondrements karstiques sur le territoire. Cette étude, que l'on qualifie d'étude du multirisque, est relativement nouvelle, elle ne s'est imposée dans le monde scientifique que récemment, et n'est pas encore devenue la norme dans les institutions publiques. Aujourd'hui seuls quelques territoires pionniers comme le Val d'Orléans s'intéressent à cette démarche multirisque.

Dans ce document, nous nous proposons de réaliser cette étude multirisque en utilisant une méthodologie issue de la littérature. Ainsi, à partir des cartes des classes d'aléa inondation et karstique nous produirons tout d'abord une carte du multi-aléa inondation-karstique dans le Val d'Orléans. Nous étudierons ensuite certaines vulnérabilités du territoire : les bâtiments, tous types confondus et la population. Le but étant de savoir combien de bâtiments sont à risque, ce qui permettrait d'évaluer le montant des dégâts en cas d'occurrence d'un multi-aléa inondation-karstique, et d'autre part, d'évaluer le nombre de personnes à évacuer, et dans quel ordre.

Mots Clés :

Multirisque, inondation, karstique