



**HAL**  
open science

# Proposition d'un cadre méthodologique et théorique d'évaluation de la vulnérabilité urbaine

Zahra Mhedhbi

► **To cite this version:**

Zahra Mhedhbi. Proposition d'un cadre méthodologique et théorique d'évaluation de la vulnérabilité urbaine. Géographie. 2016. dumas-01858420

**HAL Id: dumas-01858420**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01858420>**

Submitted on 20 Aug 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

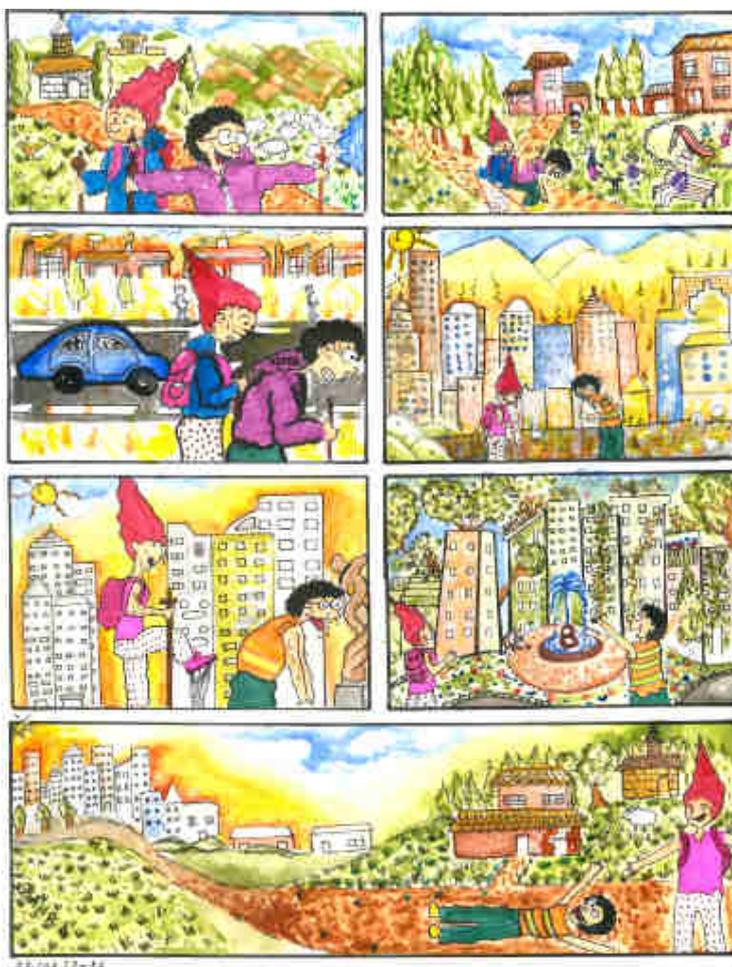
L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0  
International License

Mémoire M2 Villes et Territoires parcours Ville et Environnement

# Proposition d'un cadre méthodologique et théorique d'évaluation de la vulnérabilité urbaine



**Zahra Mhedhbi**

**Encadrant : Julia HIDALGO    Tuteur : Sinda HAOUES-JOUVE**

Année universitaire 2015-2016

## Remerciements

Je tiens à remercier très chaleureusement,

Julia HIDALGO et Sinda HAOUES-JOUVE qui m'ont encadrée tout au long de ce stage, pour leur gentillesse et leurs explications. Elles ont réussi à me mettre en confiance et m'ont permis d'avancer intelligemment dans mon travail avec des conseils et retours réguliers.

Emmanuel EVENO, directeur du LISST-Cieu qui a accepté ma première candidature spontanée pour un stage exploratoire au LISST l'année dernière. C'est grâce à cette première chance que je fais aujourd'hui parti de l'équipe du LISST.

Najla Touati, qui m'a aidé à m'initier à la géomatique et à la cartographie, et tous les membres de l'équipe de Lisst-Cieu qui m'ont apporté leur aide pendant mon stage. L'ambiance générale de l'équipe et la bonne humeur de chacun a contribué à réaliser ce stage dans les meilleures conditions.

Delphine CHOUILLOU et Alexandre AMOSSE avec qui j'ai pu beaucoup échanger et partager.

Les stagiaires Linda MORENO et Océane GACHET pour toutes ces discussions et tous ces moments partagés dans la bonne humeur.

Ma famille et mon entourage qui m'offrent un soutien sans failles extrêmement précieux.

## Sommaire

Introduction .....	1
I. Présentation de la problématique et mise en perspective par un état de l'art .....	3
1. Contexte du stage .....	3
a. Par rapport au projet MApUCE .....	3
b. Par rapport à mon parcours .....	4
2. Problématique .....	5
a. Alea composite.....	5
i. Vagues de chaleur.....	5
ii. Îlot de chaleur urbain.....	6
iii. Conclusion.....	6
b. Alea composite et territoire urbain.....	7
c. La question de départ de ma recherche.....	7
3. Méthodologie .....	7
a. Etapes préparatoires.....	7
b. Adaptation aux contraintes imposées par le projet MApUCE.....	8
c. Démarche proposée .....	10
i. Facteurs générateurs de vulnérabilité.....	10
ii. Effet dominos.....	10
4. Etat de l'art.....	11
a. Principaux concepts .....	11
i. Les risques en milieu urbain.....	11
ii. Aléa.....	12
iii. Vulnérabilité.....	12
iv. Résilience.....	13
v. Schéma récapitulatif.....	14
b. Approches théoriques de l'évaluation de la vulnérabilité .....	15
i. Relier la vulnérabilité à la question des enjeux majeurs.....	15

ii. Approcher la vulnérabilité par des indicateurs.....	16
iii. Etude des mécanismes de prévention, d'exposition et d'intervention à travers des critères propres à chaque territoire.....	17
vi. Analyse de la vulnérabilité en fonction des mécanismes d'endommagement.....	19
v. Vers une vulnérabilité synthétique.....	20
b. Problématisation .....	21
II. Démarche d'évaluation proposée.....	22
1. Introduction .....	22
2. Facteurs générateurs de vulnérabilité .....	22
a. Facteurs géographiques .....	22
i. Quels sont les facteurs géographiques générateurs de vulnérabilité ?.....	22
ii. Adaptation des facteurs géographiques au contexte de MApUCE.....	23
iii. Commentaires et combinaison des facteurs géographiques.....	30
b. Les facteurs liés aux caractéristiques urbanistiques .....	31
i. Pourquoi les facteurs liés aux caractéristiques urbanistiques sont générateurs de vulnérabilité urbaine ?.....	31
ii. Adaptation des facteurs urbanistiques au Cadre de MApUCE.....	33
iii. Commentaires et combinaison des facteurs géographiques.....	34
c. Facteurs liés aux caractéristiques institutionnelles .....	35
d. Facteurs liés aux caractéristiques humaines et sociales.....	37
3. Importance des effets dominos .....	38
II. Retour réflexif .....	41
a. Approche critique.....	41
i. Approche générique basée sur la définition retenue de la vulnérabilité .....	41
ii. Approche par indicateurs .....	41
b. Difficultés rencontrées durant le stage : contraintes imposées par le projet .....	42
c. Perspectives.....	42
Bibliographie.....	44

## Tables des figures

Figure 1 : Synoptique détaillé des tâches du projet.....	3
Figure 2 : Localisation des UU retenues .....	10
Figure 3 : définition classique du risque.....	11
Figure 4 : Interaction entre les différents concepts .....	14
Figure 5 Influence du relief sur l'évolution des températures.....	23
Figure 6 : Type de climat des 56 UU .....	27
Figure 7: Situation des 56 UU par rapport aux zones symposium .....	30
Figure 8 : combinaison des facteurs géographiques.....	31
Figure 9: analyse multicritère pour créer un indice de vulnérabilité.....	35
Figure 10 : enjeux majeurs relatifs au risque canicule .....	39
Figure 11 : effets dominos suite à une canicule.....	40

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Vulnérabilité par nature d'enjeux.....	16
Tableau 2 : Architecture de la grille d'évaluation.....	18
Tableau 3 : types de climats en France métropolitaine (Joly et al. 2010).....	24
Tableau 4: Classement des UU de la France Métropolitaine par Type de climat.....	27
Tableau 5: les altitudes des UU.....	28
Tableau 6 Type topographique des UU du territoire métropolitain.....	29
Tableau 7: Les indicateurs Mapuce renseignant sur la nature de la surface urbaine.....	33
Tableau 8: Indicateurs MApUCE relatifs à la morphologie urbaine.....	34
Tableau 9 : Exemples d'indicateurs relatifs aux facteurs institutionnels.....	37
Tableau 10 : Exemples d'indicateurs relatifs aux facteurs humains et sociaux.....	38

## **Liste des abréviations**

**FNAU** : Fédération Nationale des Agences d'Urbanisme

**ICU** : L'Ilot de Chaleur Urbain

**MApUCE** : Modélisation Appliquée et droit de l'Urbanisme : Climat urbain et Énergie

**UU** : Unité Urbaine

## Introduction

Dans les sociétés actuelles, le risque prend de plus en plus d'importance et d'ampleur. Les catastrophes naturelles et industrielles sont de nos jours en tous points de la planète. Pour cela, les sciences s'intéressent de plus en plus à l'étude des risques urbains et les politiques publiques commencent à les prendre en compte afin d'essayer de réduire leurs impacts.

Aujourd'hui, la canicule est parmi les risques les plus fréquents. En effet, elle fait partie des extrêmes climatiques les plus préoccupants au regard de la vulnérabilité de nos sociétés et de l'évolution attendue de leur fréquence et leur intensité au XXIème siècle (rapport GIEC, 2013).

Les milieux urbains sont très sensibles et fragiles à ce type de risque ; ils constituent les environnements les plus exposés et plus porteurs d'enjeux, étant donné qu'aujourd'hui, plus de la moitié de la population mondiale vit dans les villes, lesquelles concentrent la plupart des activités anthropiques et des infrastructures. De surcroît, les villes sont particulièrement vulnérables au risque de canicule du fait de l'existence d'un îlot de chaleur urbain, responsable d'une élévation de la température dans la zone urbaine par rapport à la campagne environnante. C'est le cas des grandes villes françaises qui ont été particulièrement éprouvées par la canicule de l'été 2003, laquelle a provoqué un excès de près de 15 000 décès entre le 4 et le 18 août directement attribuable à la chaleur (Hémon et Jouglé 2003).

En France, la hausse observée des températures moyennes sur les 50 dernières années a été particulièrement forte en été (Gibelin et al. 2014). Le 4e rapport sur le climat de la France au XXIè siècle (SOUBEYROUX, SCHNEIDER, et OUZEAU 2014) annonce un doublement possible du nombre de vagues de chaleur estivales en milieu de siècle et une augmentation encore plus importante en fin de siècle.

La France a adopté une politique climatique évolutive, en partie pour se préparer à ce nouveau contexte. Cette politique a connu deux grandes étapes : d'une part l'élaboration des Plans climat qui sont des plans d'action destinés à atteindre les objectifs assignés à la France par le protocole de Kyoto en 1997 ; d'autre part le processus du Grenelle de l'environnement qui favorise l'écologie et l'aménagement durable.

A cet égard, l'intégration des problématiques énergétiques et climatiques dans les politiques publiques territoriales et plus généralement dans le cadre législatif représente un enjeu important pour la réussite de la politique climatique nationale. Dans ce contexte, 6 équipes de recherche de diverses disciplines ont monté un projet de recherche ANR intitulé Modélisation Appliquée et droit de l'Urbanisme :

Climat urbain et Énergie (MApUCE) qui vise à intégrer dans les politiques urbaines et les documents juridiques les plus pertinents des données quantitatives de microclimat urbain, climat et énergie, dans une démarche applicable à toutes les villes de France. Coordonné par le GAME, ce projet a débuté le 3 mars 2014 pour une durée de 4 ans. Il bénéficie d'une aide de l'Agence Nationale de la Recherche, dans le cadre de l'appel à projet Bâtiments et Villes Durables 2013.

C'est dans le cadre de ce projet que j'ai effectué mon stage de master 2. L'objectif de mon stage est de proposer un cadre théorique et méthodologique qui permet d'évaluer la vulnérabilité des villes étudiées dans ce projet au risque canicule.

Dans la première partie de ce rapport, je présenterai le cadre général de mon travail tout en explicitant le contexte du stage par rapport au projet MApUCE et par rapport à mon parcours de recherche. J'exposerai ma problématique en expliquant la pertinence du sujet traité avec une clarification des éléments nécessaires pour la problématisation de la commande de mon stage. Puis, je présenterai en détail ma méthodologie ainsi que l'état de l'art que j'ai constitué et qui fait partie de mes premiers résultats.

Dans une deuxième partie, j'explicitai la démarche que je propose pour évaluer la vulnérabilité des villes qui constituent les terrains d'étude de MApUCE. Cette démarche a été construite en articulant le questionnement et la construction théoriques avec les contraintes imposées par le projet MApUCE. Ma démarche comporte deux parties. J'ai traité en premier lieu les facteurs générateurs de vulnérabilité urbaine au risque canicule d'une façon analytique, puis en deuxième lieu les effets dominos à travers lesquels je donne un aspect plus global et systémique à ma méthode.

Enfin, la troisième partie de ce rapport se focalisera sur une approche critique du stage et de ses attendus. Cette partie m'a permis de prendre du recul par rapport à mon travail et d'évaluer ses limites. Finalement, j'explicitai les perspectives de ce travail et sa relation avec mon sujet de thèse.

# I. Présentation de la problématique et mise en perspective par un état de l'art

## 1. Contexte du stage

### a. Par rapport au projet MApUCE

Le sujet de stage porte sur la construction d'un cadre théorique et méthodologique pour l'évaluation de la vulnérabilité territoriale d'un panel de villes Françaises au risque de vagues de chaleur. Ce sujet m'a été proposé dans le cadre du projet de recherche MApUCE co-coordonné par le laboratoire LISST.

Le projet MApUCE vise à développer, dans une démarche générique applicable à l'échelle nationale, des données et des outils qui permettent d'améliorer la mise en œuvre de politiques locales d'économies d'énergie et de gestion du climat urbain.

Afin de répondre à ces enjeux, le projet MApUCE s'organise autour d'un consortium de partenaires fortement interdisciplinaire, en droit de l'urbanisme, climat urbain, énergétique du bâtiment, architecture, sociologie, géographie et météorologie, ainsi que la Fédération Nationale des Agences d'Urbanisme (FNAU).

L'objectif de la FNAU au sein du projet MApUCE est d'identifier et de caractériser les pratiques actuelles des professionnels des agences d'urbanisme en matière d'intégration des considérations énergie-climat dans les exercices d'urbanisme.

Le projet est ainsi organisé autour de 5 volets scientifiques et 1 volet de coordination. A son tour, chaque volet est réparti en plusieurs tâches. (Figure 1) :

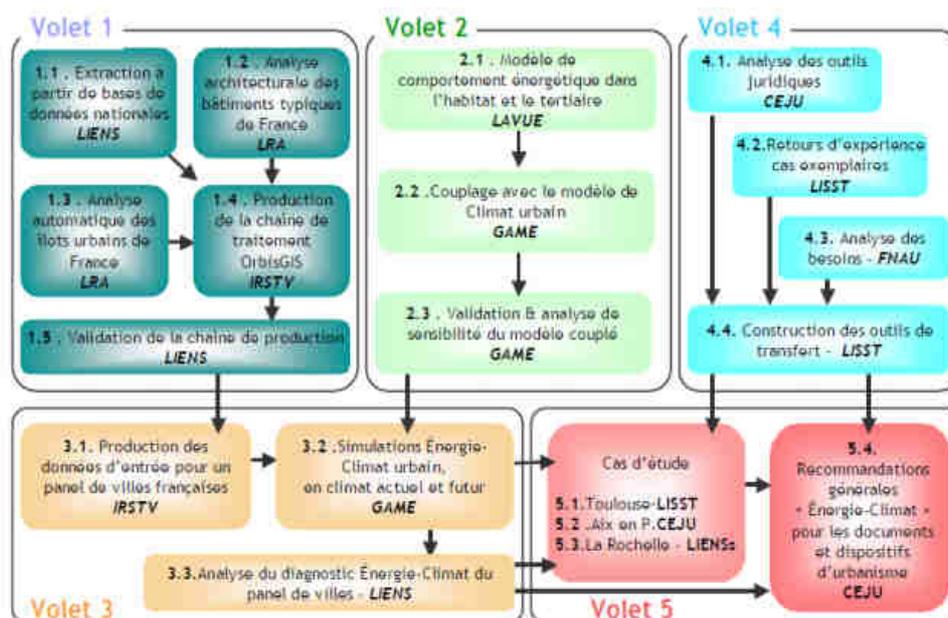


Figure 1 : Synoptique détaillé des tâches du projet

Mon stage s'inscrit dans le cadre de la tâche 4.4 du projet MApUCE intitulée « construction des outils de transfert ». Cette tâche vise à identifier les paramètres à intégrer dans les documents d'urbanisme étudiés et la spécification technique des outils de transfert. Le travail mené pendant mon stage peut également alimenter la réflexion sur l'exercice de simulation (tâche 3.2) et contribuer à l'interprétation des résultats pour la tâche 3.3 intitulée « Analyse du diagnostic Energie-climat du panel de villes ». L'interprétation des résultats se veut interdisciplinaire et se basera sur les sorties spatiales des modèles, sur des indicateurs d'impact (sorties agrégées) et sur les indicateurs urbains (données d'entrée des modèles). Donc, accorder une importance à l'évaluation de la vulnérabilité urbaine peut révéler d'autres aspects non intégrés dans un premier temps dans la modélisation, comme l'analyse de la fragilité des systèmes exposés aux différents aléas climatiques et leur capacité de faire face aux catastrophes.

Dans le cadre de ce projet de recherche, les études sont effectuées sur un panel de villes en France métropolitaine et en outremer. Pour ce panel de villes, l'équipe de recherche vise à produire une base de données urbaine, des simulations de climat local et de consommation d'énergie (habitat et tertiaire) et des méthodologies de prise en compte de ces données dans les documents d'urbanisme.

Concernant mon stage, l'objectif est de construire une démarche pertinente pour mobiliser des données existantes ou produites dans le cadre du projet, et pouvant contribuer à l'évaluation de la vulnérabilité des villes étudiées au risque canicule.

#### **b. Par rapport à mon parcours**

Ce stage s'intègre parfaitement dans mon parcours de recherche. En effet, j'ai effectué un premier stage exploratoire au LISST-Cieu du 15 mars au 30 juillet 2015 durant lequel je me suis intéressée à la caractérisation des situations de multi-exposition des villes aux risques et aux nuisances environnementales.

Etant ingénieur en génie civil, ce stage exploratoire m'a permis de m'acculturer aux problématiques et démarches méthodologiques en sciences humaines et sociales, et d'investir les champs thématiques du changement climatique, du risque, des vulnérabilités et de la résilience en milieu urbain. J'ai poursuivi au sein du même laboratoire par un deuxième stage pré-doctoral à mi-temps, du premier novembre 2015 au 28 février 2016, visant à éclairer, à partir d'une approche bibliographique, la manière dont la problématique de l'adaptation au changement climatique se pose et est éventuellement traitée dans le contexte des villes de Sud.

Mon stage de master 2 constitue également une bonne opportunité pour préparer mon projet de thèse. En effet, à partir de la rentrée 2016, je commencerai ma thèse au sein du laboratoire LISST-Cieu en collaboration avec le CNRM (Centre National de Recherche Météorologiques) sous la co-direction de Sinda Haouès-Jouve et Valéry Masson, et avec l'encadrement de Julia Hidalgo. Mon sujet de thèse

s'intitule : « **Adapter les Villes du Sud au changement Climatique : quels outils pour accompagner la planification et l'aménagement urbains ?** ».

## **2. Problématique**

Aujourd'hui les acteurs urbains sont confrontés aux enjeux de l'atténuation du changement climatique et de l'adaptation à ses effets à court, moyen et long terme. Cela passe, d'une part, par des efforts de limitation des consommations énergétiques et des émissions de gaz à effets de serre (GES), et d'autre part par des stratégies à construire afin de réduire la vulnérabilité des territoires urbains aux effets climatiques qui créent des potentiels risques.

Les risques climatiques -et particulièrement celui de canicule- impactent fortement les conditions de vie, notamment en matière de santé publique (Hémon et Jouglu 2003). Cela a été constaté lors de la canicule de 2003. Cette canicule a engendré une vague de surmortalité dans toutes les régions de France. De plus, le risque canicule influence la consommation d'énergie. En effet, une augmentation des températures entraîne une consommation d'énergie croissante et proportionnelle à l'augmentation de la température, notamment dans les immeubles tertiaires et résidentiels dotés de climatiseurs (Lafrance, Da Silva, et Desjarlais 2006). En outre, les fortes chaleurs dégradent le confort thermique et donc la qualité de vie.

Le milieu urbain est particulièrement sensible à ce risque. En effet, l'imperméabilisation des sols et la raréfaction de la végétation en ville génèrent ce que l'on appelle l'« îlot de chaleur urbain ».

Donc en milieu urbain, l'aléa relatif au risque canicule est un aléa composite. Il s'agit de l'augmentation de la température de l'air lors d'une vague de chaleur, pendant la saison estivale, aggravée par l'effet de l'îlot de chaleur urbain.

### **a. Alea composite**

#### **i. Vagues de chaleur**

Ce sont des événements météorologiques extrêmes dont la probabilité d'occurrence a fortement augmenté avec la tendance en latitudes moyennes à la hausse des températures estivales. Généralement, les vagues de chaleur sont définies comme des températures anormalement chaudes observées pendant plusieurs jours consécutifs. Le caractère thermique exceptionnel est estimé à partir d'un écart à la normale (de 5° pour l'indicateur utilisé dans le projet Européen STARDEX) ou d'un seuil absolu adapté aux températures extrêmes à l'échelle régionale. La durée minimale d'un événement varie aussi selon les indices choisis, de 3 à 6 jours généralement. (SOUBEYROUX, SCHNEIDER, et OUZEAU 2014).

En France, le Plan National Canicule (PNC) mis en œuvre suite à la canicule 2003 a plusieurs niveaux d'alerte.

Le Niveau 1 correspond à la "veille saisonnière" et il est activé systématiquement chaque année du 1er juin au 31 août.

Les niveaux suivants correspondent à des dépassements de seuils de température issus des prévisions de Météo France :

Deux indicateurs de température sont calculés à partir des prévisions météorologiques :

- Indicateurs de température maximale (de jour) T<sub>ix</sub>
- Indicateur de température minimale (de nuit) T<sub>in</sub>

Ils sont calculés selon une moyenne glissante sur 3 jours consécutifs (J, J+1, J+2) afin de prendre en considération l'effet cumulatif du stress thermique. Dans le cas où, ces deux indicateurs dépassent des températures seuils, on passe en condition de canicule.

Ces températures seuils ont été calculées à l'origine pour 14 villes pilotes en France, à partir de statistiques sur des données passées de surmortalité, puis étendues à chaque département. En effet, afin de tenir compte des disparités géographiques et de l'adaptation des habitants à leur propre climat, des seuils spécifiques sont associés à chaque département.

## **ii. Îlot de chaleur urbain**

L'îlot de chaleur urbain (ICU) est caractérisé par une élévation généralisée des températures en centre-ville, par rapport aux environs moins urbanisés.

A la campagne, l'essentiel de l'énergie solaire est utilisé par les plantes dans le processus d'évapotranspiration. « La plupart de l'énergie solaire restante réchauffe l'air rapidement dès le matin. Par contre, dans les villes, l'énergie solaire va certes chauffer l'air, mais elle va d'abord et surtout réchauffer les surfaces imperméables et les bâtiments qui vont stocker beaucoup d'énergie. Au cours de la journée, l'air urbain se réchauffe et pendant la nuit, les surfaces urbaines plus chaudes limiteront le refroidissement de l'air ambiant. C'est ce décalage temporel entre le réchauffement diurne et le refroidissement nocturne entre les zones rurales et urbaines qui est à l'origine de l'ICU ».

## **iii. Conclusion**

En définitive, il s'avère qu'en ville l'augmentation excessive de la température due au phénomène météorologique vague de chaleur est aggravée par le phénomène de réchauffement local du climat : l'îlot de chaleur urbain. Cette combinaison donne lieu à un aléa composite plus fréquent, plus long et plus intense.

Les deux composantes de cet aléa (vague de chaleur et ICU) sont modulées selon un cycle journalier. Les températures maximales absolues vont être atteintes pendant la journée. L'îlot de Chaleur Urbain (ICU) va néanmoins avoir sa contribution relative la plus forte pendant la nuit.

### **b. Alea composite et territoire urbain**

L'ampleur de l'impact de l'aléa composite sur un territoire urbain dépend des caractéristiques du territoire, son fonctionnement, son organisation spatiale et ses dynamiques territoriales. Elle dépend également de sa sensibilité et de sa capacité d'adaptation face à cet aléa. Ainsi, les aspects physiques, sociaux et organisationnels, les éléments environnementaux et leurs interactions peuvent être des facteurs déterminants de l'ampleur de l'effet de l'aléa étudié sur le territoire urbain. Ceci revient à dire que c'est l'interaction entre aléa et caractéristique du territoire urbain qui détermine le degré de vulnérabilité globale du territoire en question.

### **c. La question de départ de ma recherche**

La consigne de mon stage consistait à proposer une caractérisation géographique, urbanistique et climatique du panel de villes étudiées dans MApuCE.

Dans un premier temps, j'ai transformé cette commande pour en faire une question de départ :

**Comment concevoir une démarche générique, donc qui ne suppose pas un travail de terrain, permettant de donner un premier niveau d'évaluation de la vulnérabilité d'un panel de villes à l'aléa composite déjà défini ?**

Grâce à la recherche bibliographique que j'ai effectuée, j'ai retravaillé cette première question pour en faire un véritable questionnement de recherche que j'exposerai plus loin.

## **3. Méthodologie**

### **a. Etapes préparatoires**

Mon travail pendant ce stage a nécessité l'articulation de plusieurs approches méthodologiques et l'acquisition de certaines compétences notamment techniques. En effet, il était indispensable que je renforce mes compétences en géomatique afin de me servir de cet outil pour élaborer certaines parties de mon travail. En début de stage, je me suis donc acculturée au fonctionnement des bases de données, à la représentation de l'information géographique et aux différents systèmes de projections géographiques. Ensuite, je me suis familiarisée avec le logiciel de géomatique Qgis, tout en cherchant à comprendre la structuration d'information géographique. A la fin de cette première étape, j'étais capable de produire de manière autonome des cartes qui m'ont été utiles au cours de mon travail. Cette première étape, a duré 2 semaines. Je l'ai menée de manière autodidacte avec les conseils de Najla Touati, géomaticienne du LISST.

Suite à cette étape préparatoire qui m'a permis d'acquérir des nouvelles compétences en cartographie et SIG, j'ai entamé la recherche bibliographique qui m'était nécessaire. Cette étape m'a permis d'une part de problématiser la « commande » de stage et de clarifier les principaux concepts qui encadrent mon questionnement, à savoir le risque, l'aléa, la vulnérabilité et la résilience, et d'autre part de construire une démarche d'évaluation de la vulnérabilité des villes de MApuCE à l'aléa de vague de chaleur aggravé par l'ICU. Pour cela, j'ai procédé à l'analyse de différentes approches théoriques

proposées par plusieurs chercheurs pour évaluer la vulnérabilité urbaine à des différents types de risque. La démarche que je propose est adaptée spécifiquement au risque canicule.

Après avoir construit ma problématique, je me suis focalisée sur la question du choix de l'échelle d'étude.

### **b. Adaptation aux contraintes imposées par le projet MApUCE**

L'échelle de travail était imposée par le projet. En effet, par rapport aux objectifs du projet MApUCE–simulation du microclimat urbain et de consommation énergétique dans le résidentiel et le tertiaire – il est important que la définition de l'échelle de travail soit basée principalement sur deux critères : la continuité du bâti et le nombre d'habitants<sup>1</sup>. Pour cela, les équipes de recherche du projet ont retenu l'échelle de l'Unité Urbaine (UU), étant donné que celle-ci est définie par l'INSEE comme étant une commune ou un ensemble de communes présentant une zone de bâti continu sans coupure de plus de 200 mètres entre deux constructions et qui compte au moins 2 000 habitants.

Des critères de sélection ont été fixés afin de pouvoir choisir une cinquantaine de terrains d'étude parmi les 2390 UU comptabilisées dans le recensement de 2010 de l'INSEE.

Le choix des UU était basé sur deux critères :<sup>2</sup>

- **Les UU faisant partie de l'Urban Audit d'Eurostat (327 dans l'Union Européenne dont 82 en France) :**

« Ce premier critère permet d'inscrire le panel de villes choisi pour MApUCE dans une dynamique de production de données et de recherche Européenne »<sup>3</sup>. En effet, les données recueillies dans le cadre de l'«**Urban Audit**» (336 variables pour 270 indicateurs) fournissent des informations et des mesures comparables sur les différents aspects de la qualité de vie dans les villes européennes.<sup>4</sup>

- **Les UU ayant une agence d'urbanisme :**

« Le deuxième critère permet de réduire le nombre d'UU aux objectifs du projet. En effet, la présence sur le territoire d'une agence d'urbanisme peut faciliter la communication et la valorisation des résultats

---

<sup>1</sup>Justification du panel de villes pour l'exercice de simulation numérique (Julia HIDALGO, 2014, document technique, MApUCE)

<sup>2</sup>Justification du panel de villes pour l'exercice de simulation numérique (Julia HIDALGO, 2014, document technique, MApUCE)

<sup>3</sup>Justification du panel de villes pour l'exercice de simulation numérique (Julia HIDALGO, 2014, document technique, MApUCE)

<sup>4</sup>[http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/region\\_cities/city\\_urban](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/region_cities/city_urban)

du projet. »<sup>5</sup> Ceci est d'autant plus vrai que la Fédération Nationale des Agences d'Urbanisme (FNAU) est partenaire de MApUCE.

Bien qu'elle ne dispose pas d'agence d'urbanisme, La Rochelle est gardée dans le panel étant donné que c'est un terrain d'étude pour le projet MApUCE.

Donc suite au croisement des différents critères cités, un panel de 82 UU a été retenu dont 56 en France métropolitaine et 6 en outre-mer. Mais la démarche que je propose dans le cadre de ce travail ne prend en compte que les UU de la France métropolitaine.

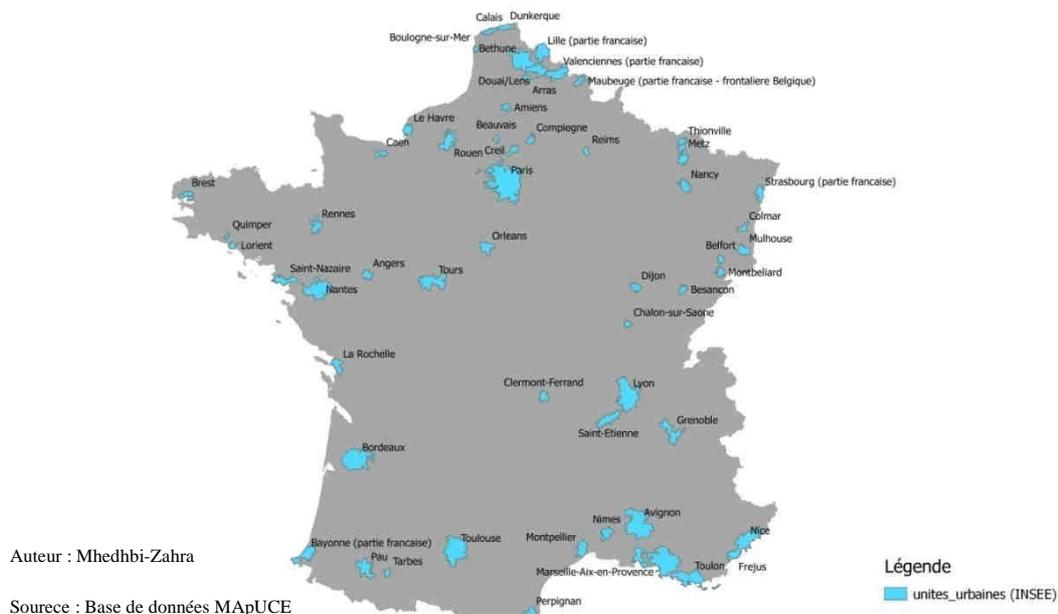
Les 6 UU d'outre-mer sont :

- Saint-Denis (Réunion)
- Saint-Paul (Réunion)
- Saint- Pierre (Réunion)
- Pointe-à-Pitre-Les Abymes (Guadelupe)
- Le Robert (Martinique)
- Cayenne (Guayanne)

La figure 2 rapporte en bleu les 56UU du territoire métropolitain retenues, leurs localisations, leurs surfaces ainsi que leurs noms.

---

<sup>5</sup>Justification du panel de villes pour l'exercice de simulation numérique (Julia HIDALGO, 2014, document technique, MApUCE)



**Figure 2 : Localisation des UU retenues**

**c. Démarche proposée**

Après avoir analysé les étapes de choix de l'échelle et des terrains d'étude, j'ai conçu ma démarche. En effet, l'approche que je propose est une approche générique applicable au panel de 56 UU sélectionnées. Cette démarche se compose de deux parties :

**i. Facteurs générateurs de vulnérabilité**

Cette première partie est basée sur des indicateurs. En effet, j'ai identifié à partir d'un croisement entre l'état de l'art (I.4) et les contraintes imposées par le projet MApUCE (I.3.b) quatre types de facteurs générateurs de vulnérabilité urbaine au risque canicule, à savoir les facteurs géographiques, urbanistiques, institutionnels et humains et sociaux. Pour chaque catégorie de facteurs, j'ai proposé un panel d'indicateurs permettant d'évaluer la contribution de chaque catégorie dans la vulnérabilité globale d'une UU. Il s'agit d'une approche analytique qui m'a permis de traiter chaque type de facteurs avec précision.

**ii. Effet dominos**

Pour avoir une idée plus globale et systémique de la manière d'évaluer la vulnérabilité urbaine à l'aléa de vague de chaleur aggravée par l'effet de l'ICU, je propose d'analyser les différents effets dominos d'une canicule. Cela permet de prendre en compte les différentes interactions entre les effets néfastes engendré par ce risque.

#### 4. Etat de l'art

##### a. Principaux concepts

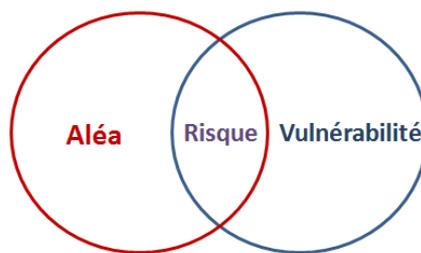
Les principaux concepts de ma recherche sont : le risque, l'aléa, la vulnérabilité et la résilience. La mobilisation de ces concepts a été nécessaire pour la conception de la démarche d'évaluation de vulnérabilité que je propose.

##### i. Les risques en milieu urbain

Historiquement, le risque était perçu comme une fatalité contre laquelle l'homme est impuissant. Mais un basculement a eu lieu suite au séisme de 1755 à Lisbonne. Rousseau propose l'idée selon laquelle l'Homme doit agir afin de réduire les risques et de ne plus les considérer comme une vengeance divine. Cette nouvelle vision du risque met l'accent sur la responsabilité de l'Homme, ce qui va permettre le passage d'un état passif à un état actif de l'individu et de la société qui reste toujours dans l'incapacité de percevoir le risque, ni les façons d'y faire face. (Barroca, Hubert, et Diab 2006).

Selon le sens commun, le risque renvoie à la probabilité de perdre quelque chose, que ce soit pour un individu, un quartier, une ville ou un pays. Il renvoie souvent au danger et à l'insécurité. Face à cette vision large, une approche scientifique s'est avérée nécessaire pour préciser cette notion. Cette approche qui convoque plusieurs disciplines s'attache à identifier les facteurs explicatifs d'un événement, à mesurer sa probabilité d'occurrence et sa magnitude, à évaluer son acceptabilité individuelle et sociale et à mettre en place des actions publiques spécifiques pour la prévention du risque et sa gestion.

La définition usuelle donnée pour le risque naturel est la suivante :  $(\text{Risque}) = (\text{aléa}) \times (\text{vulnérabilités})$  (figure3)



**Figure 3 : définition classique du risque**

Donc le risque est un concept complexe et composite. Il se base sur la conjonction entre la notion d'aléa et celle de vulnérabilité, qui sont elles-mêmes des notions à expliciter.

## **ii. Aléa**

L'aléa a toujours été le point de départ des études dans la perspective de l'élaboration d'un plan de prévention des risques (Metzger et D'Ercole 2011).

Ce sont les sciences dures qui étudient l'aléa, en le définissant en fonction de la probabilité d'occurrence du phénomène dommageable et de son intensité. Il est généralement analysé par des physiciens, par une approche probabiliste, sans mettre l'accent sur sa place dans le risque.

Dominant dans la notion de risque, l'aléa oriente et détermine, dans la plupart des analyses, toutes les démarches de prévention et d'action envisagées pour éviter les catastrophes. Il délimite également le périmètre d'analyse du risque en le définissant comme l'espace atteint par l'aléa ((Metzger et D'Ercole 2011). Devant cette domination de l'aléa, la vulnérabilité prenait une place secondaire dans l'analyse du risque et elle restait la partie faible de sa définition jusqu'à ce que les sciences humaines et sociales aient commencé à travailler sur ces concepts.

## **iii. Vulnérabilité**

La vulnérabilité est définie en général comme la sensibilité et la fragilité d'un système. Ce concept est introduit dans les études de risque par les sciences sociales. En effet, ces sciences proposent de décrypter la sensibilité et la fragilité de la population, des bâtiments, des systèmes politiques, économiques ou techniques, des infrastructures et des territoires suite à leur exposition à un aléa.

Le concept de vulnérabilité est polysémique. Pour le comprendre et l'analyser, certains auteurs ont établi des catalogues de définitions (Liegeois, 2005 ; Ayral, 2001). Ils exposent la diversité sémantique qui peut lui être associée avec des définitions globales, spécifiques et sectorielles.

Cette polysémie génère un certain doute chez les acteurs institutionnels, ce qui fait de la vulnérabilité un concept faible face à celui de l'aléa et rend sa place dans l'analyse du risque relativement marginale (Veyret et Reghezza 2006).

De nombreux auteurs luttent contre cette marginalisation et défendent le fait d'accorder une importance plus grande à la vulnérabilité dans les études du risque (d'Ercole et Metzger 2009)(Dauphiné,2010). De fait, sans interrogations sur la vulnérabilité, le risque reste mal maîtrisé. En effet, considérer le concept de vulnérabilité comme central dans l'étude des risques s'avère essentiel pour une lecture transversale du risque naturel (Adger 2006). Cela permet de prendre en compte les spécificités du territoire affecté par l'aléa et de proposer des solutions plus adaptées au contexte local.

Selon d'autres auteurs, une nouvelle vision du risque, qui accorde moins d'importance à l'aléa et qui conçoit le risque en se basant surtout sur la vulnérabilité, paraît nécessaire (Barroca, Hubert, et Diab 2006).

Donc le risque ne peut se résumer à sa seule composante « aléa » ; il dépend de la manière dont cet aléa se combine avec la vulnérabilité territoriale (D'Ercole 1994).

Considérer la vulnérabilité territoriale incite à prendre en compte différentes dynamiques du territoire du risque : environnementales, socioculturelles, politico-institutionnelles et économiques ((Magnan 2009).

La prise en compte de ces dynamiques multiples confère un caractère évolutif à la vulnérabilité qui caractérise un territoire. En effet, la notion de vulnérabilité a progressivement évolué pour mettre l'accent sur son caractère actif. Donc la vulnérabilité n'est plus seulement une propension à subir des dommages, mais intègre aussi une capacité d'y faire face (Woloszyn et Quenault 2013).

#### **iv. Résilience**

A partir de l'évolution du concept de vulnérabilité apparaît le concept de résilience, qui est un concept polysémique recouvrant des facettes différentes selon la discipline qui le mobilise. Cette polysémie du terme nourrit de nombreux débats sur son utilisation et sa pertinence opérationnelle (Djament-Tran et al. 2011).

Insuffisamment claire, la résilience est perçue par les experts comme peu opérationnelle et parfois redondante par rapport à d'autres notions. Cela emmène à la confondre parfois avec la durabilité, l'adaptation ou la robustesse (Villar et David 2014).

Ce concept peut se définir comme la capacité d'un système à absorber une perturbation et à récupérer ses fonctions à la suite de cette perturbation (Lhomme et al. 2010). En effet, un territoire résilient est entendu comme un territoire en mouvement vivant et actif, pouvant agir et réagir, capable de s'adapter et de trouver un nouveau état d'équilibre (Villar et David 2014).

La recherche sur la résilience urbaine regroupe des compétences diverses relevant du champ de l'urbanisme, de l'architecture, de l'ingénierie, de l'économie, de la géographie et de la sociologie.

Par conséquent, ce concept donne lieu à un dialogue interdisciplinaire susceptible de lui conférer plus d'opérationnalité. En effet, cette interdisciplinarité construit un socle de facteurs qui dépassent la simple capacité de faire face à une catastrophe, et permettent de retrouver un nouvel état de fonctionnement.

Pour éviter les phénomènes de ruptures, de dysfonctionnement ou d'effondrement de la structure bâtie de la ville face à des perturbations, on fait appel à la résilience des systèmes techniques. Toutefois, l'approche sociale est primordiale dans l'étude du concept de résilience. D'ailleurs, la résilience des villes démontre que, même lorsque les catastrophes ont détruit des structures bâties, les structures sociales sont restées robustes. Ce sont les propriétés humaines et sociales qui rendent les villes résilientes au fil du temps (Villar et David 2014).

Pour ces raisons, la structure sociale et culturelle du territoire ne peut pas être occultée ou mise de côté. Elle doit être prise en compte avec la résilience des systèmes techniques urbains, afin de permettre de considérer les objets urbains face aux risques dans leur globalité et leur complexité à travers une étude des interactions qui les structurent. En effet, cela renforce l'idée qu'un territoire ne

peut se résumer à ses composantes structurelles, géographiques, sociales et économiques ; il dépasse la simple somme de ses composantes pour englober les relations entre ces éléments.

#### v. Schéma récapitulatif

Après cette première partie de la recherche bibliographique qui m'a servi à clarifier les principaux concepts de ma recherche et les interactions entre eux, j'ai construit un schéma (figure 4) pour mieux illustrer les interactions entre les différents concepts.

La vulnérabilité peut être définie comme un concept qui se compose de deux volets : un volet statique qui considère les éléments exposés comme des éléments sensibles et passifs qui subissent l'effet de l'aléa sans pouvoir réagir ; le deuxième volet est un volet dynamique qui prend en compte la capacité de faire face et donc de résilience. La vulnérabilité, ainsi définie par ces deux volets, peut être croisée avec un aléa pour caractériser un risque

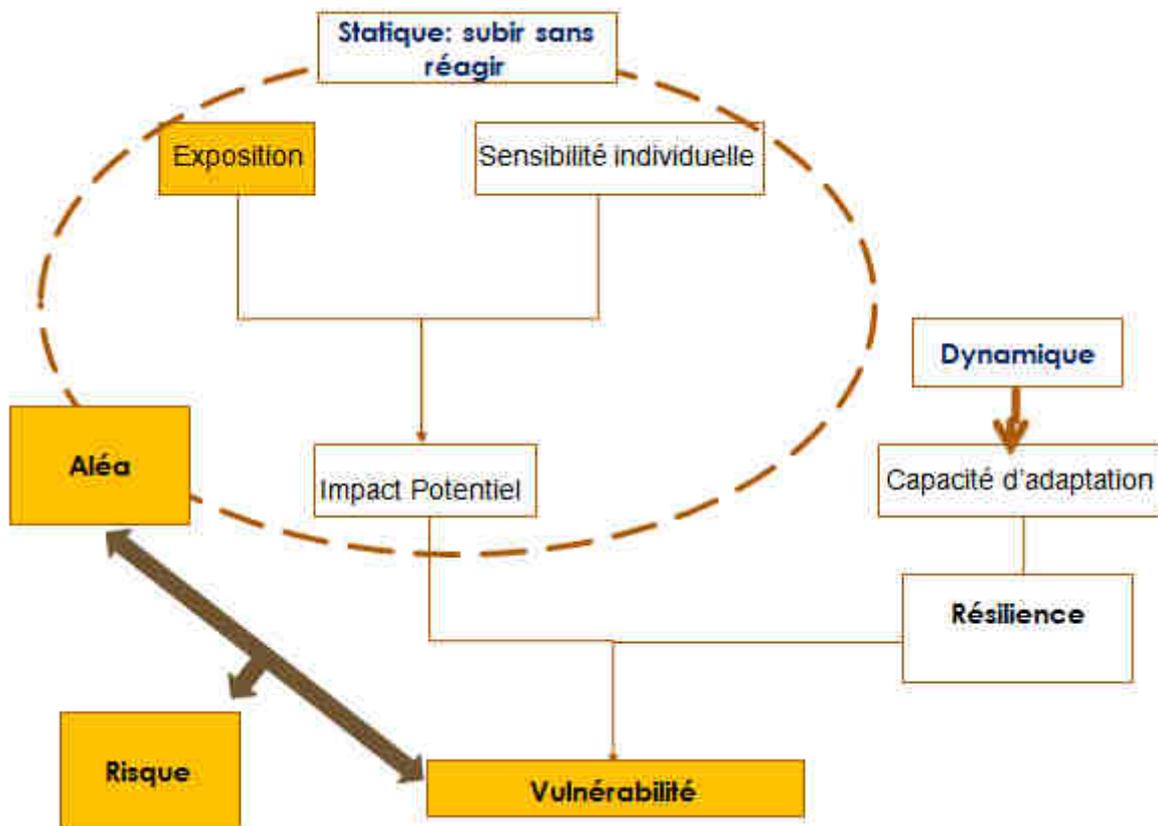


Figure 4 : Interaction entre les différents concepts (Auteur : Zahra Mhedhbi)

## **b. Approches théoriques de l'évaluation de la vulnérabilité**

De nombreuses approches de la vulnérabilité territoriale aux aléas naturels se sont développées autour, par exemple, des processus d'endommagement physiques et d'exposition de certains enjeux matériels ou humains (immeubles, centres de décision, hôpitaux, réseaux d'eau potable, etc.)

D'autres approches interrogent les capacités sociales à faire face et proposent de ne plus considérer les éléments exposés comme passifs, subissant simplement l'impact d'une catastrophe, mais plutôt comme actifs et disposant de certaines ressources qu'ils peuvent mobiliser pour diminuer leur niveau de risque ou les effets potentiels d'un aléa. Ce sont ces deux familles d'approches que je vais développer dans ce qui suit.

### **i. Relier la vulnérabilité à la question des enjeux majeurs**

Des chercheurs comme Robert D'Ercole et Pascale Metzger (2009) ont proposé d'évaluer la vulnérabilité territoriale en la reliant à la question des enjeux majeurs, c'est-à-dire des éléments clés qui permettent à l'ensemble d'un territoire de fonctionner, de se développer et de faire face à une situation d'urgence comme les centres de décision et d'intervention ou les réseaux de transport et de communication.

En effet, étant des éléments clés pour le fonctionnement, ces enjeux une fois totalement ou partiellement endommagés sont susceptibles de fragiliser le territoire et de le paralyser. Il s'agit de la transmission de la vulnérabilité, de lieux particuliers vers des ensembles territoriaux plus vastes.

Selon cette étude, le choix des grands domaines d'analyse pour identifier les « enjeux majeurs » s'appuie sur une analyse du fonctionnement urbain. En outre, une réflexion spécifique sur chaque type d'enjeu est essentielle afin d'identifier les variables permettant l'évaluation de chacune des dimensions de la vulnérabilité. Ces données se construisent à partir des enquêtes auprès des différents corps professionnels spécialistes des domaines analysés. En effet, une fois les enjeux majeurs identifiés, la deuxième étape consiste à analyser la vulnérabilité de ces enjeux, c'est-à-dire leurs faiblesses et les défaillances susceptibles de les dégrader et d'affecter leur fonctionnement partiellement ou totalement comme leur exposition aux aléas, leur dépendance (la dépendance des stations de pompes du réseau d'approvisionnement en eau vis-à-vis du système électrique), la capacité de les contrôler (à titre d'exemple la capacité de contrôle d'une centrale nucléaire en cas de catastrophe), leurs alternatives de fonctionnement (une station de potabilisation pouvant compter sur plusieurs sources d'eau est moins vulnérable que celle qui dépend d'un seul captage) et leur niveau de préparation à la gestion des crises. (existence plans de gestion de crises).

Cette approche ne met pas l'accent sur l'aléa et n'étudie pas un aléa en particulier.

## ii. Approcher la vulnérabilité par des indicateurs

Clara Villar et Michel David (2014) classent la vulnérabilité en quatre types (démographique, environnementale, sociale et économique) et proposent de s'appuyer sur des indicateurs afin d'effectuer une analyse en termes de vulnérabilité. Le choix de ces indicateurs doit permettre d'avoir des résultats interprétables et un certain équilibre entre les indicateurs choisis, sauf s'il y'a une dimension dans l'étude qui est privilégiée par rapport à une autre. Les indicateurs retenus doivent également permettre de caractériser les trois phases : avant, pendant et après la crise.

Afin d'interpréter et d'analyser les indicateurs choisis, ces chercheurs proposent de dépasser les méthodes séquentielles reposant sur l'analyse successive des indicateurs élémentaires et les remplacer par des méthodes multi-variées comme l'analyse factorielle multiple qui semblent être plus adaptée pour construire une approche systémique. En effet, cette méthode permet de rééquilibrer le rôle des dimensions et de mettre en évidence des liens entre les indicateurs d'une même dimension, mais aussi les relations entre les différentes dimensions de la vulnérabilité.

Cette étude évoque également que s'appuyer uniquement sur des indicateurs est insuffisant et qu'il est nécessaire de se confronter au terrain et de ne pas se contenter d'interpréter des indicateurs, afin d'intégrer à l'évaluation l'identité du territoire et la stratégie politique envisagée.

En dressant un premier bilan de la diversité et de l'importance des méthodes et des outils d'évaluation des vulnérabilités aux menaces naturelles, Frédéric Leone et Freddy Vinet (2005) ont mis l'accent sur une approche analytique de la vulnérabilité par nature d'enjeux soit : structurale, humaine ou sociale, institutionnelle, environnementale et fonctionnelle (tableau1).

**Tableau 1 : Vulnérabilité par nature d'enjeux**

Nature d'enjeux	Eléments concernés	Précisions
<b>Structurale</b>	- les infrastructures physiques : bâti, réseaux physiques, ouvrages d'arts, -corporelle : pour les personnes physiques [dommages corporels]	Les travaux qui l'abordent sont les plus abondants, soit à travers des retours d'expérience ou des diagnostics qui se reposent sur des simulations de dommages.
<b>Humaine ou sociale</b>	Approches sociale ou psycho-sociales	Essentiellement traitée sous la forme de retours d'expérience sur les réponses, les adaptations, les comportements face aux événements dommageables et leurs conséquences socio-économiques et territoriales.
<b>Institutionnelle</b>	Pour les institutions	Etudiée a travers des retours d'expérience avec un

		thème principal l'analyse de la capacité de réponse des institutions face à la crise
<b>Environnementale</b>	Les différentes composantes du milieu naturel [végétation, ressources en eau, etc.]	Restent des approches qualitatives, avec une simple description de dommages
<b>Fonctionnelle</b>	Les fonctions et activités diverses [notamment économiques]	Analyse des dysfonctionnements, notamment des activités économiques, suite aux ruptures des réseaux de communication,

Ces chercheurs mettent l'accent sur la nécessité d'adopter une approche systémique qui ne réduit pas la vulnérabilité d'un territoire à la somme des vulnérabilités des enjeux exposés. Cela exige donc l'adoption d'une approche transversale qui prenne en compte :

- Les échelles de temps et d'espace, propres à ses enjeux
- La nature des éléments vulnérables
- Leur niveau d'organisation,
- Leur implantation géographique et la période analysée (avant, pendant ou après une crise).

Cela prouve que la vulnérabilité est un système dynamique, articulé autour d'une multitude de facteurs directs et indirects, en interaction souvent complexe.

### **iii. Etude des mécanismes de prévention, d'exposition et d'intervention à travers des critères propres à chaque territoire**

D'autres approches évaluent la vulnérabilité territoriale à travers l'étude des mécanismes d'exposition aux risques, de prévention (prise en compte des risques par les politiques publiques de prévention et de réparation), d'intervention et de perception (formes de connaissances de risque par les usagers) (Barroca, Pottier, et Lefort 2005).

Parmi ces approches, celle décrite par Barroca, Pottier et Lefort propose 5 grilles d'évaluation traitant la vulnérabilité dans ses différentes dimensions : aléa, population, bâti, usagers, gestion de crise.

Sur la base de ces grilles, des indices de vulnérabilité sont créés et comparés entre eux. Les grilles doivent obéir une architecture et une logique communes afin de permettre de comparer les indices synthétiques de chaque grille et d'évaluer les vulnérabilités les plus importantes et prioritaires sur une zone homogène. La grille est construite de 6 colonnes (Tableau 2) :

**Tableau 2 : Architecture de la grille d'évaluation**

Colonne 1 : <b>Critères « pères » vulnérabilité globale</b>	Colonne 2 : « fils » <b>sous-critères de vulnérabilité</b>	Colonne 3 : <b>Sources d'information</b>	Colonne 4 : <b>Evaluation de vulnérabilité</b>	Colonne 5 : <b>Indices synthétiques</b>	Colonne 6 : <b>Indice global</b>
Critères de vulnérabilité globaux « pères »	donnent plus de précision sur la situation de vulnérabilité et une description plus objective à l'échelle locale.	précise les données utiles pour évaluer le critère	en fonction de la situation locale à chaque critère fils il faut attribuer une note de 0 à 3. Il s'agit d'établir les extrêmes à partir d'exemples représentatifs L'échelon local permet d'avoir des unités homogènes pour faire le calcul -0 : pas de vulnérabilité=résistant -1 : faiblement vulnérable -2 : moyennement vulnérable -3 : fortement vulnérable	moyennes des indices de tous les critères fils [d'un seul critère père= moyenne des cotes éventuellement pondérées =>résultat : un indicateur synthétique de vulnérabilité échelonné de 0 à 3. => considérer leurs valeurs comme informatives	moyenne des cotes pondérées pour une certaine thématique, obtenues pour les différents indices synthétiques =>résultat : un indicateur globale de vulnérabilité échelonné de 0 à 3 pour chaque grille d'évaluation + cet indicateur est complété par l'écart type pour avoir une idée sur la dispersion des cotes obtenues par rapport à la moyenne

La liste des critères doit être spécifique au territoire d'étude et réalisée en fonction d'un ou de plusieurs types d'aléas.

Le choix des critères pères et fils se fait à travers un diagnostic territorial pour arriver à une connaissance fine du territoire, de ses enjeux, de son contexte géo-historique et de toutes ses spécificités. Cela permet de faire une première liste de facteurs de vulnérabilités spécifiques au territoire. Ensuite, c'est l'étape de l'enquête dans laquelle il faut auditer les acteurs locaux directement impliqués dans le travail de réduction de vulnérabilités aux différents aléas. Ces acteurs sont susceptibles de connaître parfaitement la réalité du terrain. L'objectif est d'avoir une représentation

des acteurs la plus exhaustive possible et de les amener à parler de leur propre perception du risque, leurs définitions de la vulnérabilité et les facteurs qu'ils leur attribuent et leur hiérarchisation.

A chaque critère fils est attribuée une valeur quantitative ou qualitative (occurrence de l'aléa, densité de population, valeurs monétaires des biens concernés, etc.).

A ce niveau, l'évaluation n'est pas encore possible ; il s'agit seulement d'une description de l'état existant et des événements passés. Pour une évaluation précise et efficace de la vulnérabilité, il faut que les indicateurs globaux soient calculables dans le temps c'est-à-dire avant la crise, pendant la crise et après la crise.

Pour l'évaluation de la vulnérabilité se sont les indicateurs globaux qui sont utilisés.

#### **vi. Analyse de la vulnérabilité en fonction des mécanismes d'endommagement**

Certains chercheurs considèrent la vulnérabilité comme un outil de compréhension des mécanismes d'endommagement (Gleyze et Reghezza 2007). Leur approche consiste à construire une grille d'analyse fondée sur les enjeux et leurs vulnérabilités, tout en distinguant la vulnérabilité matérielle de la celle fonctionnelle. Avec cette grille d'analyse, une plus grande importance est donnée à la dynamique du risque. En effet, les risques sont considérés comme la conséquence de l'évolution des espaces et des sociétés qu'ils affectent. Cela écarte un peu l'aléa qui était toujours le pilier essentiel pour l'analyse du risque, et libère la vulnérabilité qui reste très largement liée à l'aléa, au sens où l'enjeu est souvent considéré non pas comme vulnérable en soi, mais comme vulnérable à tel ou tel aléa.

Ces chercheurs ont fondé leur analyse sur l'endommagement et la vulnérabilité, en pensant celle-ci comme une propriété intrinsèque des enjeux étudiés, sur laquelle il est possible d'agir en situation d'incertitude ou d'absence de contrôle sur l'aléa. Pour cela une connaissance de la vulnérabilité globale de l'agglomération s'avère essentielle. Les difficultés de gestion rencontrées sont dues à la complexité du risque dans le sens où l'agglomération présente une multitude d'enjeux de nature diverse, susceptibles de subir des dommages très variés. De plus, ce qui augmente la complexité du risque, c'est le fait d'avoir une très grande multitude d'acteurs, d'enjeux et d'emboîtements d'échelles, ce qui rend plus difficile leur recensement exhaustif.

Cette approche considère la pertinence de l'échelle comme une question primordiale pour l'étude de risque. En effet, étudier le risque à l'échelle de l'agglomération est complexe, mais la complexité apparaît aussi à l'échelle de chaque enjeu qui doit être appréhendé comme un système en soi, au sein duquel de multiples composantes possèdent chacune une vulnérabilité propre.

Certains éléments sont dépendants du fonctionnement d'autres enjeux. Donc, l'évocation de la vulnérabilité d'un enjeu peut masquer, à des échelles inférieures, un nombre considérable d'enjeux présentant chacun un degré d'exposition et une sensibilité à l'aléa qui leur sont propres. Par

conséquent, deux enjeux ayant le même degré d'exposition à l'aléa subiront des formes d'endommagement très différentes qui s'inscrivent par ailleurs dans une dynamique temporelle, ce qui augmente leur complexité.

Cette étude met l'accent également sur un autre aspect à prendre en compte. Ce sont les effets dominos qui posent encore plus de difficultés pour l'évaluation de la vulnérabilité (Dauphiné et Provitolo 2013). Ces effets dominos induisent la propagation de la perturbation hors de la zone de l'aléa, de sorte que le risque se diffuse par contagion de l'échelle locale à des échelles plus larges. Il ne s'agit pas d'un seul risque mais d'une multitude de risques entraînés par l'aléa initial

Une autre étude de Magali Reghezza (2009) considère elle aussi la vulnérabilité comme un degré de perte et de dommage, mais elle précise que le fait d'adopter cette définition induit une gestion des risques basée sur le principe coût-bénéfice. Cela est possible pour la vulnérabilité physique qui désigne l'impact physique d'un aléa sur des bâtiments, des réseaux et des infrastructures. Mais cette évaluation est inacceptable pour plusieurs chercheurs étant donné que la vulnérabilité humaine et sociale ne peut pas obéir à cette démarche qui se repose sur le principe cout-bénéfice. (Reghezza 2009)

#### **v. Vers une vulnérabilité synthétique**

Afin de construire une approche permettant une évaluation globale de la vulnérabilité urbaine, il est nécessaire de raisonner en termes de vulnérabilité synthétique (Dauphiné, 2003). Dauphiné définit ainsi la vulnérabilité synthétique : « La vulnérabilité synthétique traduit la fragilité d'un système dans son ensemble, et de manière indirecte, sa capacité à surmonter la crise provoquée par un aléa. Plus un système est apte à se rétablir après une catastrophe, moins il est vulnérable » (Dauphiné, 2003).

Dans cette nouvelle vision de la vulnérabilité qui intègre la capacité de faire face à une crise et de se rétablir suite à une catastrophe, il y a une évolution de la définition de la vulnérabilité au-delà d'une simple approche passive et statique qui favorise la suprématie de l'aléa. En effet, la notion de vulnérabilité a progressivement évolué vers la mise en évidence de son caractère actif, ce qui fait de la vulnérabilité la résultante d'un bilan entre des fragilités et des capacités de résistance (Woloszyn et Quenault 2013). Cette nouvelle facette de la vulnérabilité a donné naissance un autre concept, celui de la résilience. Ce concept a engendré un changement de paradigme dans les dispositifs de gestion des risques (Woloszyn et Quenault 2013).

Les approches classiques basées sur la maîtrise des aléas ou la réduction des vulnérabilités, notamment physique, ont en effet montré leurs limites (la construction de digues contre les inondations par exemple). Ces approches sont encore plus insuffisantes avec l'intensification attendue des aléas dus au changement climatique (Woloszyn et Quenault 2013).

## **b. Problématisation**

Le contexte du stage et la réalisation d'un état de l'art m'ont permis de problématiser la consigne de mon stage sous la forme d'un système de questionnement issu de la question de départ suivante :

Comment construire un cadre théorique et méthodologique permettant d'évaluer la vulnérabilité urbaine au risque de vagues de chaleur ?

- Quels sont les facteurs qui permettent au mieux de décrire et d'évaluer la vulnérabilité des villes au risque de vague de chaleur ?
- Dans quelles mesures et de quelles manières les paramètres et caractéristiques géographiques, urbains, sociaux et institutionnels participent-ils à la vulnérabilité d'un territoire urbain ?
- Comment -en plus de ces facteurs- prendre en compte les effets dominos dans une démarche systémique ?

## **II. Démarche d'évaluation proposée**

### **1. Introduction**

L'approche que je propose est une approche générique applicable au panel de 56 UU sélectionnées. Cette démarche se compose de deux parties. Dans une première partie je traite les quatre types de facteurs générateurs de vulnérabilité urbaine au risque canicule à savoir les facteurs géographiques, urbanistiques, institutionnels et humains et sociaux. J'ai identifié ces types de facteurs à partir d'un croisement entre l'état de l'art (I.4) et les contraintes imposées par le projet MApUCE (I.3.b). En effet, l'état de l'art m'a permis de clarifier le concept de vulnérabilité et de comprendre les facteurs qui le génèrent. En analysant quelques approches théoriques d'évaluation de vulnérabilité, j'ai pu identifier les 4 types de facteurs déjà cités que j'ai adaptés au risque canicule. Les données produites dans le cadre du projet MApUCE étaient également un critère de sélection pour les facteurs, l'objectif étant de mobiliser les données produites.

Pour chaque type de facteur, j'ai proposé un panel d'indicateurs permettant d'évaluer la contribution de chacun d'entre eux à la vulnérabilité globale d'une UU. Dans la deuxième partie, j'analyserai les effets dominos afin de donner à voir une manière plus globale et systémique d'évaluer la vulnérabilité urbaine à l'aléa de vague de chaleur aggravée par l'effet de l'ICU.

### **2. Facteurs générateurs de vulnérabilité**

#### **a. Facteurs géographiques**

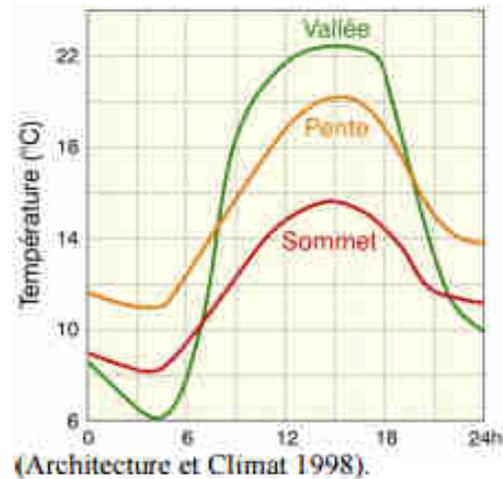
##### **i. Quels sont les facteurs géographiques générateurs de vulnérabilité ?**

La ville s'intègre dans un environnement naturel avec lequel elle entretient des relations étroites. Le climat, et en particulier la température, à un endroit donné dépend fortement de la localisation géographique : la latitude, la topographie (altitude et configuration morphologique du territoire) et la proximité de grandes étendues d'eau, comme les océans ou les mers.

La latitude a une influence, surtout de par la fraction de rayonnement solaire qui arrive à la surface (les zones équatoriales étant plus ensoleillées que les zones polaires). Au sein d'un territoire étendu comme la France, ces différences se font également sentir et donc le territoire national présente un gradient climatique marqué Nord-Sud.

L'altitude a également une influence sur la température. La diminution de température avec l'altitude est de l'ordre de 0,6°C à 1°C par élévation de 100 m.

Le relief quant à lui influe sur la température par les variations qu'il induit sur l'irradiation solaire des pentes en fonction de leurs orientations et de leurs inclinaisons ainsi que les variations qu'il crée au niveau du régime des vents. (Figure 5) (Reiter 2007)



**Figure 5 Influence du relief sur l'évolution des températures**

Donc, pour évaluer la vulnérabilité au risque de vague de chaleur induite par la localisation géographique, j'analyserai les types de climats, les altitudes ainsi que les configurations topographiques des UU.

## ii. Adaptation des facteurs géographiques au contexte de MApUCE

- **Type de climat**

Pour le territoire français métropolitain 8 types de climats sont distingués (Joly et al. 2010). Ces types de climats ainsi que leurs descriptions sont résumées dans le tableau 3.

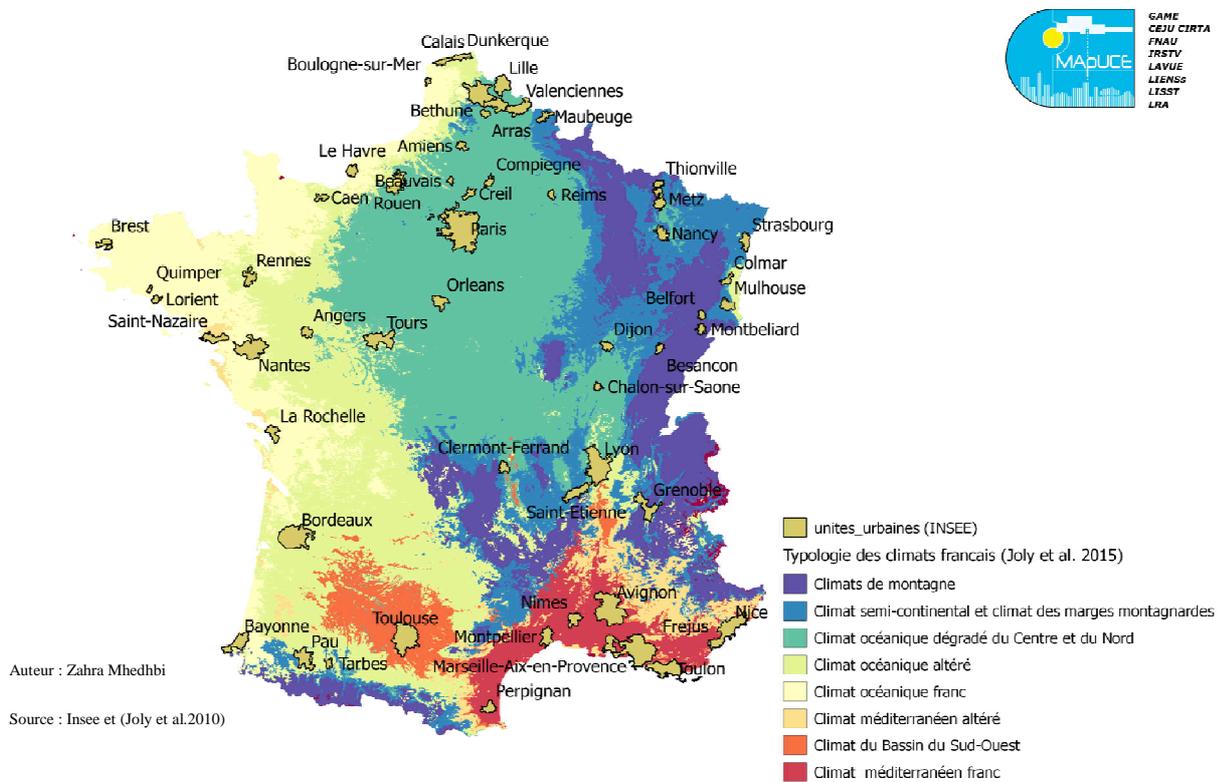
**Tableau 3 : Types de climats en France métropolitaine (Joly et al. 2010)**

Type	Caractéristiques
Les climats de montagne	<p>un nombre de jours et un cumul élevés de précipitation</p> <p>une température moyenne inférieure à 9,4°C</p> <p>plus de 25 jours au cours desquels la température minimale a été inférieure à -5°C et moins de 4 avec un maximum supérieur à 30°C.</p> <p>La variabilité interannuelle des précipitations de juillet et des températures d'hiver et d'été est maximale</p>
Le climat semi-continental et le climat des marges montagnardes	<p>Pour ces secteurs les températures sont moins froides qu'en montagne (elles sont cependant, à altitude égale, plu froides que partout ailleurs),</p> <p>les précipitations légèrement plus faibles et moins fréquentes,</p> <p>la variabilité climatique sur la normale 1971-2000 élevée.</p> <p>faible rapport entre les précipitations d'automne et d'été</p>
Le climat océanique dégradé des plaines du Centre et du Nord	<p>Le climat reste océanique mais avec des dégradations.</p> <p>Les températures sont intermédiaires (environ 11°C en moyenne annuelle, entre 8 et 14 jours avec une température inférieure à -5°C).</p> <p>Les précipitations sont faibles (moins de 700 mm de cumul annuel), surtout en été, mais les pluies tombent en moyenne sur 12 jours en janvier et sur 8 en juillet, valeurs moyennes rapportées à l'ensemble français.</p> <p>La variabilité interannuelle des précipitations est minimale tandis que celle des températures est élevée</p>
Le climat océanique altéré	<p>La température moyenne annuelle est assez élevée (12,5°C) avec un nombre de jours froids faible (entre 4 et 8/an) et chauds soutenu (entre 15 et 23/an).</p> <p>L'amplitude thermique annuelle (juillet-janvier) est proche du minimum et la variabilité interannuelle moyenne.</p> <p>Les précipitations, moyennes en cumul annuel (800-900 mm) tombent surtout l'hiver, l'été étant</p>

	assez sec. »
Le climat océanique franc	<p>Les températures sont moyennes et très homothermes : l'amplitude annuelle (moins de 13°C d'écart entre juillet et janvier),</p> <p>Le nombre de jours froids (moins de 4) et chauds (moins de 4) et la variabilité interannuelle sont minimaux.</p> <p>Les précipitations sont annuellement abondantes (un peu plus de 1000 mm) et fréquentes en hiver (plus de 13 jours en janvier).</p> <p>L'été est également pluvieux (8-9 jours en juillet) mais les cumuls sont réduits.</p> <p>Une forte variation interannuelle des précipitations d'hiver. »</p>
Le climat méditerranéen altéré	<p>La température moyenne annuelle est élevée, avec des jours de froid en nombre réduit et des jours chauds compris entre 15 et 23/an.</p> <p>La variabilité interannuelle des températures de juillet est minimale : l'été est répétitivement chaud d'une année à l'autre.</p> <p>Le cumul des précipitations annuelles est moyen (800-950 mm) mais elles ne sont pas réparties homogènement</p> <p>L'automne et l'hiver, humides et très variables d'une année à l'autre, s'opposent à l'été, sec et stable sur la normale 1971-2000. »</p>
Le climat du Bassin du Sud-Ouest	<p>Une moyenne annuelle de température élevée (supérieure à 13°C) et un nombre élevé (&gt; 23) de jours chauds tandis que les jours qui présentent un gel inférieur à -5°C sont rares.</p> <p>L'amplitude thermique annuelle est élevée (15 à 16°C) et la variabilité interannuelle des températures d'hiver et d'été est faible.</p>

	<p>Les précipitations, peu abondantes en cumul annuel (moins de 800 mm) et en hiver, le sont un peu plus durant l'été. Elles sont plus fréquentes en hiver (9-11 jours) qu'en été (moins de 6 jours).</p> <p>L'intensité des précipitations est faible l'hiver (précipitations océaniques) et plus élevées l'été (perturbations orageuses venant de l'Espagne ou du golfe de Gascogne). La variabilité interannuelle des précipitations est moyenne. »</p>
<p>Le climat méditerranéen franc</p>	<p>Les températures annuelles sont élevées, associées à des jours froids rarissimes et des jours chauds fréquents.</p> <p>L'amplitude interannuelle est élevée (plus de 17°C entre juillet et janvier) tandis que ces caractères sont très stables d'une année à l'autre.</p> <p>Le rapport très élevé entre précipitations d'automne et précipitations d'été (&gt; 6) est le caractère principal de ce climat.</p> <p>Le cumul annuel des précipitations est faible avec un été aride mais un hiver plutôt bien arrosé malgré un faible nombre de jours de pluie. Ces caractères sont également stables d'une année à l'autre. »</p>

L'ensemble des 56 UU retenues sont ici situés par rapport aux huit types climatiques de la France Métropolitaine décrits dans le tableau ci-dessus (Figure 6)



**Figure 6 : Type de climat des 56 UU**

Les UU métropolitaines sont classées par type de climat dans le tableau 4 tout en indiquant leurs nombres. Il est possible d'observer qu'il y a une représentativité des UU pour tous les types de climats avec une majorité des UU retenues appartenant aux climats océanique dégradé du Centre et du Nord et Océanique altéré, ce qui est normal car ces types de climat couvrent une grande partie du territoire national.

**Tableau 4: Classement des UU de la France Métropolitaine par Type de climat**

Type de Climats	UU retenues	Nombre
Les climats de montagne	Belfort, Besançon, Montbéliard	3
Le climat semi-continental et le climat des marges montagnardes	Grenoble, Maubeuge, Metz, Mulhouse, Nancy, Saint-Etienne, Strasbourg, Thionville	8

Le climat océanique dégradé du Centre et du Nord	Amiens, Arras, Beauvais, Béthune, Chalon-sur-Saône, Clermont-Ferrand, Compiègne, Creil, Dijon, Douai/Lens, Lille, Orléans, Paris, Reims, Tours, Valenciennes	16
Le climat océanique altéré	Angers, Bordeaux, Caen, Calais, Colmar, Dunkerque, Lyon, Pau, Rennes, Rouen, Tarbes	11
Le climat océanique franc	Bayonne, Boulogne-sur-Mer, Brest, La Rochelle, Le Havre, Lorient, Nantes, Quimper	8
Le climat méditerranéen altéré	Saint-Nazaire	1
Le climat du Bassin du Sud-ouest	Toulouse	1
Le climat méditerranéen franc	Avignon, Fréjus, Marseille-Aix-en-Provence, Montpellier, Nice, Nîmes, Perpignan, Toulon	8

- **Altitude**

Les altitudes des 56 UU classées par plage de 100 m sont résumées dans le tableau 5

**Tableau 5: Les altitudes des UU**

Altitude (m)	UU	Nombre
<b>0-100</b>	Angers, Avignon, Bayonne, Béthune, Bordeaux, Caen, Calais, Compiègne, Creil, Douai/Lens, Dunkerque, La Rochelle, Le Havre, Lille, Lorient, Montpellier, Nantes, Perpignan, Quimper, Rennes, Saint-Nazaire, Tours, Valenciennes, Amiens, Arras, Beauvais, Boulogne-sur-Mer, Brest, Nîmes, Orléans, Paris, Reims, Rouen	33
100-200	Colmar, Fréjus, Lyon, Marseille-Aix-en-Provence, Maubeuge, Nice, Pau, Strasbourg, Thionville, Toulon, Toulouse, Chalon-sur-Saône	12
200-300	Dijon, Metz, Mulhouse, Nancy	4

>300	Belfort, Besançon, Clermont-Ferrand, Grenoble, Montbéliard, Saint-Etienne, Tarbes	7
------	-----------------------------------------------------------------------------------	---

- **La configuration topographique**

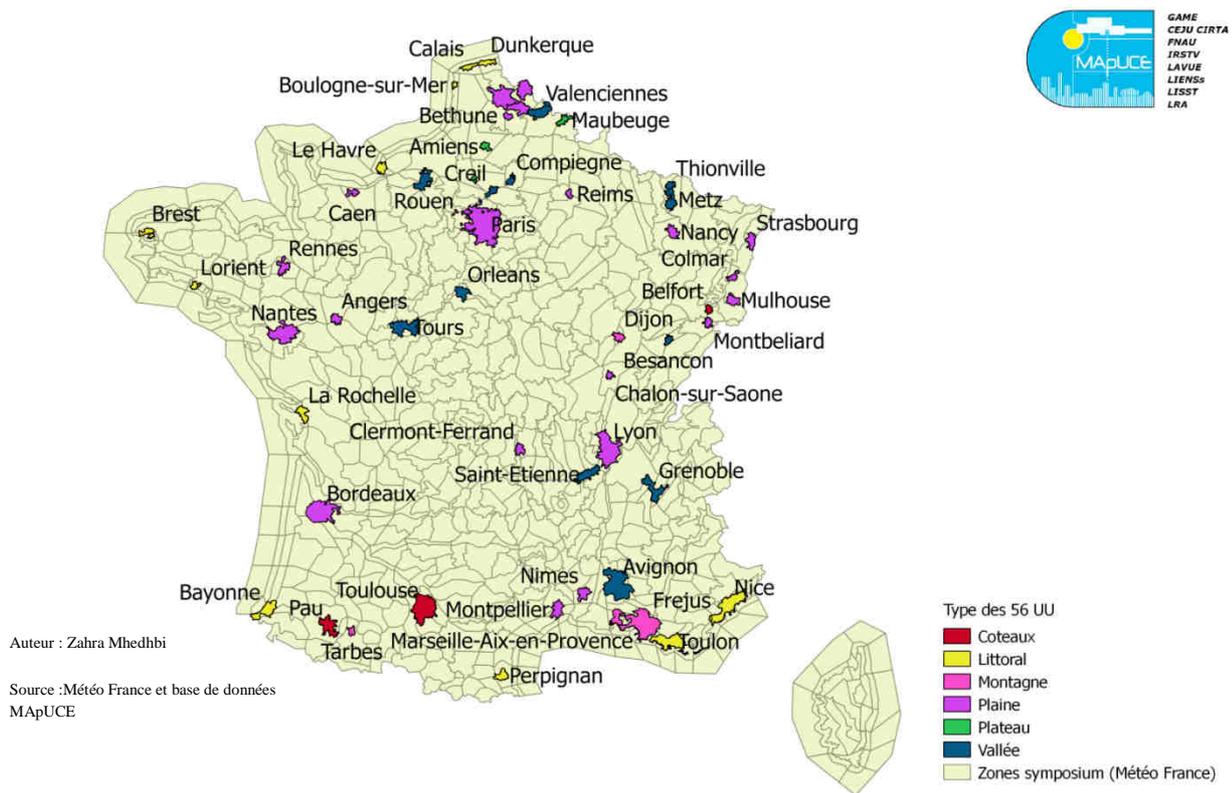
Le territoire Français métropolitain a été découpé par Météo-France en 720 zones climatiques homogènes appelées zones symposium. Ces zones sont caractérisées par 9 types topographiques différents, soit : Vallée, Urbain, Littoral, Mer, Montagne, Côte, Coteaux, Plateau et Plaine.

J'ai utilisé cette classification pour caractériser la topographie des UU. Les UU dont le chef-lieu est localisé en zone symposium de type 'urbain' ont été classées selon la typologie majoritaire des zones adjacentes à ces UU. (Tableau 6)

**Tableau 6 Type topographique des UU du territoire métropolitain**

Type	UU	Nombre
Plateaux	Amiens, Beauvais, Maubeuge	3
Plaine	Angers, Arras, Béthune, Bordeaux, Caen, Chalon-sur-Saône, Clermont-Ferrand, Colmar, Douai/Lens, Lille, Lyon, Montbéliard, Montpellier, Mulhouse, Nancy, Nantes, Nîmes, Paris, Reims, Rennes, Strasbourg	21
Vallée	Avignon, Besançon, Compiègne, Creil, Grenoble, Metz, Orléans, Quimper, Rouen, Saint-Etienne, Thionville, Tours, Valenciennes	13
Littoral	Bayonne, Boulogne-sur-Mer, Brest, Calais, Dunkerque, Fréjus, La Rochelle, Le Havre, Lorient, Nice, Perpignan, Saint-Nazaire, Toulon	13
Montagne	Dijon, Marseille-Aix-en-Provence, Tarbes	3
Coteaux	Belfort, Pau, Toulouse	3

Les 56 UU retenues sur le territoire métropolitain sont ici situées par rapport aux 720 zones symposium du territoire métropolitain. (figure7)



**Figure 7: Situation des 56 UU par rapport aux zones symposium**

### iii. Commentaires et combinaison des facteurs géographiques

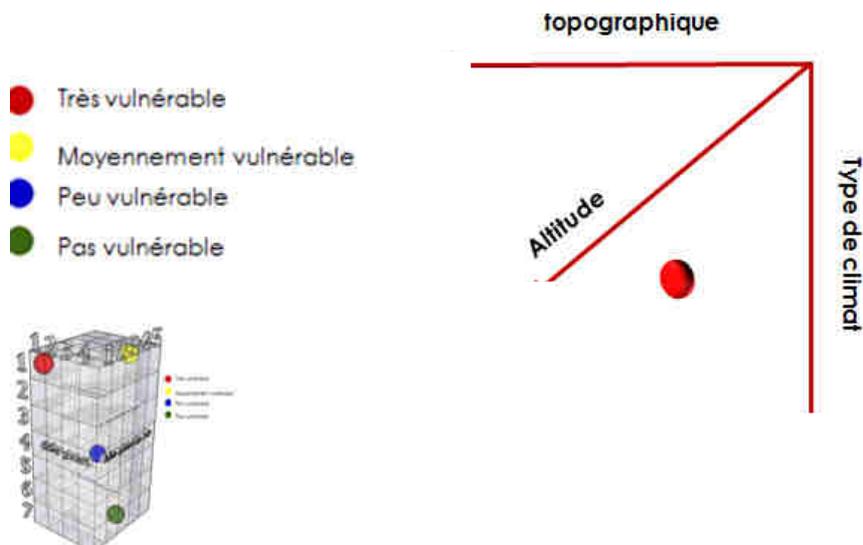
Les indicateurs proposés pour caractériser la contribution des facteurs géographiques dans l’augmentation de la vulnérabilité des villes MAPUCE sont : le type de climat, l’altitude et la configuration topographique de l’UU.

En ce qui concerne le type de climat, les villes situées dans le climat méditerranéen franc comme Montpellier ou Nice sont les plus exposées aux températures élevées.

En termes d’altitude, les villes situées en altitude par rapport au niveau de la mer sont moins exposées à la hausse de la température, citons en titre d’exemple Belfort.

Concernant la configuration topographique, ce sont les villes côtières qui ont la meilleure configuration étant donné qu’elles profitent des brises marines, c’est le cas par exemple de Bayonne, Boulogne-sur-Mer ou Brest.

Afin d’évaluer la vulnérabilité globale relative aux différents facteurs géographiques, je propose de créer une grille 3D à travers laquelle on peut combiner les 3 facteurs. Par exemple, une UU de climat méditerranéen franc, ayant une faible altitude (de moins de 100m) et de configuration topographique vallée, peut être qualifiée comme très vulnérable au risque canicule (figure8)



**Figure 8 : combinaison des facteurs géographiques**

## **b. Les facteurs liés aux caractéristiques urbanistiques**

### **i. Pourquoi les facteurs liés aux caractéristiques urbanistiques sont générateurs de vulnérabilité urbaine ?**

La structure urbaine est l'un des facteurs générateurs de la vulnérabilité des villes au risque de vague de chaleur. Ce sont la nature de la surface urbaine, la morphologie urbaine ainsi que le métabolisme urbain qui impactent cette vulnérabilité étant donnée que sont les causes de la formation du climat urbain.

- **Nature de la surface urbaine**

La nature de la surface urbaine peut être très hétérogène et se répartie généralement entre sols artificialisés, sols nus, végétalisés, et plans d'eau. Du fait de sa composition, la surface urbaine joue un rôle dans la modification du climat local, et par conséquent dans la vulnérabilité urbanistique d'une UU au risque de vague de chaleur.

Pour mieux expliquer l'importance de la nature de la surface urbaine dans l'évaluation de la vulnérabilité physique d'une ville au risque de vague de chaleur, je l'ai décomposée en surface naturelle et surface artificielle.

- **Les surfaces naturelles**

La configuration des espaces verts (parcs, squares, rues plantées) et la nature des végétaux (arbres, arbustes, pelouse, etc.) influencent l'ampleur de l'effet rafraichissant de la végétation en général.

Les plans d'eau jouent aussi un rôle de rafraichissement de l'atmosphère en milieu urbain. Ainsi la présence d'un plan d'eau de surface importante, comme un lac par exemple, joue un rôle important

dans la diminution de la vulnérabilité de la ville à l'effet de vague de chaleur. Les sources d'eau isolées, telles que les fontaines par exemple, ont un effet ponctuel vu la taille réduite de leurs surfaces. En revanche, les grands jets d'eau permettent des effets d'humidification et de rafraîchissement notables (Benzerzour 2004).

- **Surfaces artificialisées**

L'imperméabilisation du sol urbain, due à la minéralisation de l'espace et à l'évacuation immédiate des eaux de pluies par les réseaux, diminue l'évaporation du fait de l'existence d'une moindre quantité d'eau à évaporer. A cette imperméabilisation s'ajoute également la faible présence de végétation, à l'origine d'une diminution des phénomènes d'évapotranspiration dus aux végétaux. En outre, la nature des matériaux utilisés pour construire la ville, leurs propriétés thermiques et radiatives, ont une grande influence sur le bilan thermique de la surface urbaine. Santamouris met l'accent sur l'importance des propriétés thermiques des matériaux et sur la couleur qui influence le pouvoir de réflexion d'une surface exposée à la lumière (albédo) (Santamouris 2005)(Santamouris 2007). En effet, pour évaluer la vulnérabilité urbanistique d'une UU, la densité des surfaces artificialisées et la nature des matériaux de constructions sont des facteurs importants.

- **Morphologie urbaine**

La géométrie de la ville est un facteur très influent sur les caractéristiques climatiques du milieu urbain. Les rues et les hautes parois verticales forment ce que l'on nomme les canyons urbains. Une configuration de rues étroites entourées de hauts bâtiments engendre le réfléchissement des rayonnements par les différentes parois, ce qui empêche leur évacuation vers l'atmosphère (piégeage partiel des rayonnements). Les surfaces se réchauffent ainsi sous l'action des rayons. Le piégeage influence également la valeur de l'albédo du couvert urbain. En outre, un bâtiment ou un ensemble de bâtiments constitue un obstacle à l'écoulement des masses d'air (Colombert 2008).

Le rayonnement solaire reçu par un espace public ou un bâtiment dépend de l'orientation et de l'inclinaison du terrain sur lequel il se trouve. Une superficie perpendiculaire aux rayons du soleil reçoit le maximum d'énergie solaire par unité de surface. C'est pourquoi les pentes orientées au sud (dans l'hémisphère nord) reçoivent plus de soleil que les autres orientations. Les pentes plus raides reçoivent généralement plus de soleil que les terrains plats, sauf pour une pente orientée au nord, ce qui constitue la configuration qui reçoit le moins de rayonnement solaire.

- **Apports anthropiques de chaleur**

Les rejets de chaleur d'origine anthropique ont comme origine le chauffage, le transport, les activités industrielles et le métabolisme humain. Ces rejets sont beaucoup plus importants en milieu urbain du fait de la concentration des activités et des habitations. Ce flux de chaleur d'origine anthropique

contribue au développement d'îlots de chaleur, en particulier dans les milieux urbains denses où les activités se concentrent.

## ii. Adaptation des facteurs urbanistiques au Cadre de MApUCE

Pour étudier l'impact de ces trois facteurs sur la vulnérabilité des 56 UU de MApUCE, les équipes de recherche impliquées ont produit une base de données climatique et urbaine riche en indicateurs. Cela permettrait de décrire la manière dont la structure urbaine des terrains d'étude et leur fonctionnement impactent leurs climats locaux, et par suite d'évaluer leurs vulnérabilités aux risques de vagues de chaleur.

- **Nature de la surface urbaine**

Afin de qualifier la nature de la surface urbaine de chaque UU, j'ai retenu des indicateurs figurant dans la base de données MApUCE. (Tableau 7)

**Tableau 7: Les indicateurs MApUCE renseignant sur la nature de la surface urbaine**

Indicateur	Echelle	Description
u_BUILD	USR	Surface totale des bâtiments
u_WATER	USR	Surface des éléments hydrographiques
u_VEG	USR	Surface de végétation
u_ROAD	USR	Surface du réseau routier

USR : Une échelle de production d'un panel d'indicateurs de MApUCE. Elle est définie comme un ensemble de constructions entourées par des rues ou des routes.

- **Structure urbaine**

Afin d'estimer l'influence de la structure urbaine sur la vulnérabilité d'une UU au risque canicule, j'ai mobilisé certains des indicateurs de la base de données MApUCE. (Tableau 8)

**Tableau 8: Indicateurs MApUCE relatifs à la morphologie urbaine**

<b>Indicateur</b>	<b>Echelle</b>	<b>Description</b>
i_H_ORIGIN	Bâtiment	Hauteur du bâtiment
u_VOL_MEAN	USR	Volume moyen des bâtiments de l'USR
u_COMP_NWMEAN	USR	Compacité nette moyenne des bâtiments de l'USR
i_DIR	Bâtiment	Direction principale du bâtiment en degré (Nord-Sud = 0° ; Est-Ouest = 90°)

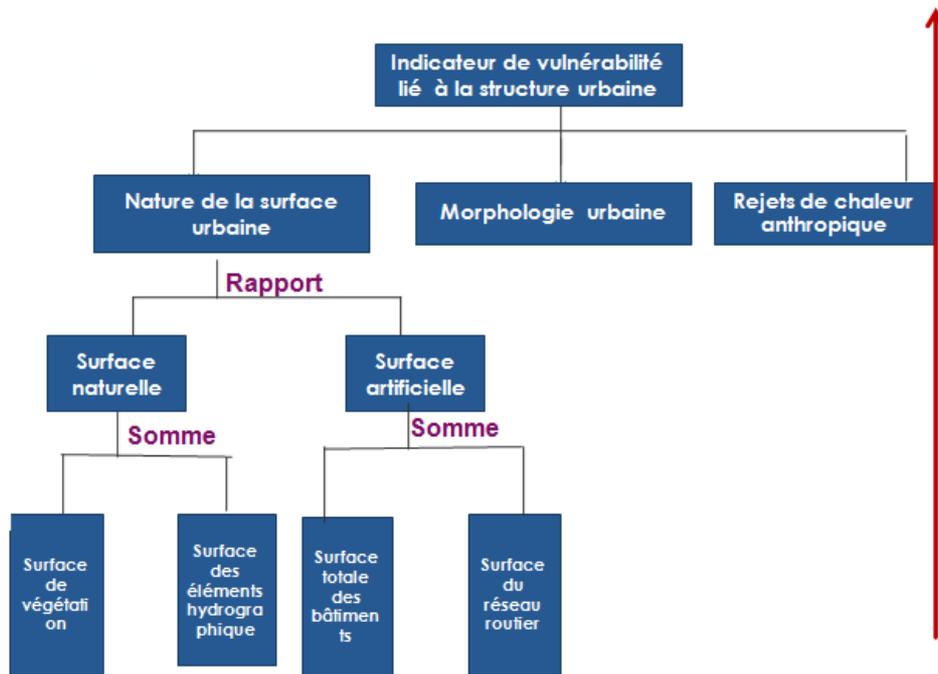
- **Chaleur anthropique**

Les indicateurs renseignant sur le rejet de chaleur par les activités humaines sont en cours de production dans le cadre du projet MApUCE.

### **iii. Commentaires et combinaison des facteurs géographiques**

Les indicateurs retenus sont produits soit à l'échelle de l'USR, soit à celle du bâtiment. Par contre, l'échelle retenue pour l'évaluation de la vulnérabilité est celle d'UU. Donc, l'agrégation des indicateurs à l'échelle de l'UU s'avère nécessaire.

Pour pouvoir évaluer la vulnérabilité de l'UU due à sa structure urbaine, je propose une analyse multicritère qui permet de créer un indicateur synthétique renseignant sur la vulnérabilité due au facteur de la structure urbaine. (Figure 9)



**Figure 9: analyse multicritère pour créer un indice de vulnérabilité**

Faute de temps, j'ai uniquement pu construire l'indicateur relatif au facteur « Nature de la surface urbaine ». L'idée consiste à calculer l'indicateur de la surface de végétation et celui de la surface des éléments hydrographiques (deux valeurs homogènes) pour en faire un indicateur intermédiaire qui renseigne sur l'ampleur des surfaces naturelles dans chaque UU (on procède de manière identique pour les surfaces artificielles). Une fois ces deux indicateurs intermédiaires calculés, on construit un indicateur plus global renseignant sur la nature de la surface urbaine.

L'idée est d'appliquer le même raisonnement aux deux autres facteurs -structure urbaine et rejet de chaleur anthropique- pour en faire au final un indicateur synthétique lié à la structure urbaine.

### **c. Facteurs liés aux caractéristiques institutionnelles**

Les dysfonctionnements institutionnels comme l'absence ou la défaillance des responsables compétents ou des relais institutionnels locaux ou régionaux, ou l'existence d'une crise politique grave qui cause l'interruption des relais de décision à un niveau élevé ou encore la corruption des institutions accentuent la vulnérabilité d'un territoire (Thouret et D'ercole 1996). En effet, la gestion des risques urbains nécessite des structures institutionnelles et administratives capables d'atténuer leurs effets prévisibles, et de bien gérer la phase de crise et celle d'après crise.

Dans le cadre de ce travail, nous nous intéressons à ceux relatifs aux stratégies préventives et de planification, à la participation et l'implication des citoyens, ainsi qu'aux stratégies d'intervention en cas d'alerte et d'urgence.

- **Stratégies préventives et planification**

Les choix politiques en matière de planification urbaine sont des facteurs qui participent à la vulnérabilité d'une ville (Thouret et D'ercole 1996). Ces choix peuvent refléter le degré de conscience des responsables de l'urbanisme de la ville vis à vis du risque des vagues de chaleur, ainsi que leur plus ou moins grande volonté d'y faire face. Concrètement, ce facteur pourrait être évalué à travers l'ampleur des stratégies urbaines de végétalisation, le choix des matériaux utilisés dans les projets d'aménagement et l'orientation plus ou moins affirmée vers l'architecture bioclimatique.

- **La participation et l'implication des citoyens**

La formation et la sensibilisation de la population au risque canicule sont nécessaires pour qu'elle acquière des capacités qui lui permettront d'y faire face. En outre, l'implication des citoyens dans les grands projets envisagés est aussi importante afin de pouvoir prendre en considération leur propre perception du risque canicule.

- **Les plans d'intervention en cas d'alerte et d'urgence**

La capacité à s'organiser face à la crise est un enjeu majeur pour une meilleure résilience urbaine (Lagarnier, 2011). Pour cela, en cas d'urgence, il est important d'avoir une stratégie d'intervention bien définie.

En effet, une crise engendre une profonde instabilité de la ville; elle nécessite une action rapide et efficace. Pour cela, il est important d'avoir des plans de gestion de crise qui permettent de s'organiser sur les 3 phases (avant, pendant et après la crise), car les défauts de préparation à la crise augmentent la vulnérabilité de l'UU.

Afin d'évaluer l'influence de ces facteurs institutionnels sur la vulnérabilité d'une UU, je propose quelques indicateurs par facteurs (Tableau 9).

**Tableau 9 : Exemples d'indicateurs relatifs aux facteurs institutionnels**

Facteurs	Exemples d'indicateurs
Stratégies préventives et planification	-Degré de prise en compte du risque canicule dans les documents de planification -Ampleur des projets d'adaptation -Ressources humaines et financières dédiées au risque canicule
Implication des citoyens	-Nombre de réunions avec les habitants -Plateforme de communication en cas de crise
Stratégies d'intervention en cas d'alerte et d'urgence	-Existence d'un plan canicule local -Population inscrite au système d'alerte

#### **d. Facteurs liés aux caractéristiques humaines et sociales**

Les facteurs humains et sociaux jouent un rôle important dans la lecture territorialisée du risque urbain et particulièrement de sa composante vulnérabilité. En effet, considérer ce type de facteurs générateurs de vulnérabilité indique que ce sont les conditions particulières d'une société face aux aléas qui contribuent à produire des situations de risque (Rebotier 2012).

Dans le cadre de ce travail, j'ai considéré deux facteurs générateurs de vulnérabilité humaine et sociale à savoir :

- La proportion et la distribution spatiale des populations considérées comme fragiles (enfants, personnes âgées etc)
- Le degré de convergence entre inégalités socio-économiques et inégalités environnementales.

- **La proportion et la distribution spatiale des populations fragiles**

Avoir une idée précise sur la proportion et la distribution spatiale de la population âgée ou très jeune, des personnes malades et handicapées est important pour évaluer la vulnérabilité de cette population fragile. Cela est possible à travers la localisation des crèches, des hôpitaux, des maisons de retraites par rapport aux aménités environnementales qui contribuent aux îlots de fraîcheur.

- **Le degré de convergence entre inégalités socio-économiques et inégalités environnementales**

La division sociale de l'espace impacte la distribution du risque sur le territoire urbain

En effet, si l'espace de la ville est construit sur la base d'une ségrégation socio-économique des habitants, la distribution des risques urbains sur l'espace de la ville suivra certainement cette ségrégation. Ceci engendre des vulnérabilités inégales sur le territoire même de la ville et par conséquent la capacité de réponse sera fortement différente selon la catégorie sociale de l'espace considéré (Rebotier, 2012). Ainsi, si les zones urbaines de faible qualité environnementale comme les pourtours d'équipements lourds, les friches industrielles ou les espaces de faible dotation physique en nature accueillent des populations modestes, on peut parler de zones d'inégalités environnementales (Faburel, 2008). Dans ce cas, les populations de faibles niveaux de vie, fragiles économiquement et socialement, occupent les parties de la ville les plus vulnérables physiquement. Il s'agit d'une ségrégation socio-économique de l'espace aggravée par une distribution inégale des équipements en termes de gestion et de prévention du risque canicule.

Afin d'évaluer la contribution de ces facteurs à la vulnérabilité des UU, je propose des exemples d'indicateurs classés par facteurs dans le tableau 10.

**Tableau 10 : Exemples d'indicateurs relatifs aux facteurs humains et sociaux**

Facteurs	Exemples d'indicateurs
<b>Degré de convergence entre inégalités socio-économiques et profil de vulnérabilité humaine</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Personnes âgées/jeunes enfants</li> <li>• Personnes malades ou handicapées</li> </ul>
<b>Degré de convergence entre inégalités socio-économiques et inégalités environnementales</b>	Croisement entre distribution spatiale des populations pauvres et les espaces verts (ilots de fraîcheur)

### **3. Importance des effets dominos**

La première partie de la démarche que je propose consiste à analyser les facteurs générateurs de vulnérabilité de manière analytique en expliquant leurs contributions dans l'évaluation de la vulnérabilité.

Cette démarche analytique permet d'examiner les facteurs dans leurs détails mais elle n'est pas suffisante pour avoir une vision globale de la vulnérabilité des UU. Afin d'évaluer cette vulnérabilité

d'une manière globale, il est nécessaire de prendre en compte les effets dominos engendrés par un aléa (Beck, Weber, et Granet, 2007).

Les effets dominos se définissent par une réaction en chaîne suite à l'exposition à un aléa. J'ai choisi d'appréhender cette question à partir des enjeux majeurs, étant donné qu'un enjeu majeur est défini comme un élément clé permettant au territoire de fonctionner. En effet, dès lors qu'un enjeu majeur est endommagé partiellement ou totalement, il est capable de paralyser le fonctionnement du territoire (d'Ercole et Metzger, 2009). En outre, une des caractéristiques importantes d'un enjeu majeur est sa capacité de transmettre la vulnérabilité à l'extérieur de la zone de l'aléa.

Etant donné que ce travail porte sur le risque de canicule, j'ai identifié 5 enjeux majeurs qui sont primordiaux pour le fonctionnement de la ville en cas d'exposition à l'aléa de vague de chaleur, à savoir : les centrales nucléaires, les stations électriques, les réseaux de transport, les hôpitaux et les îlots de fraîcheur (Figure 10).

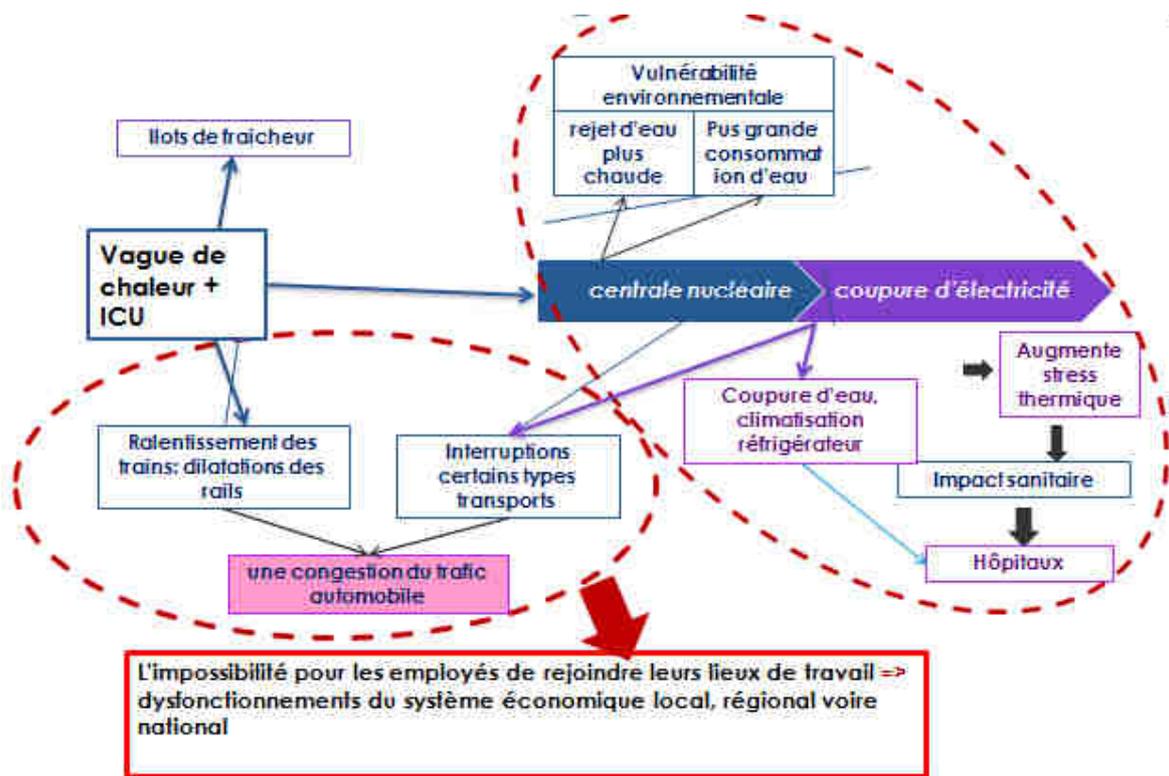


**Figure 10 : enjeux majeurs relatifs au risque canicule**

Pour illustrer ce propos, prenons pour exemple l'impact d'une vague de chaleur sur les centrales nucléaires et les réactions en chaîne potentiellement engendrées sur le territoire. Les centrales sont la source principale de production d'énergie électrique en France. En cas de canicule, elles ont besoin de davantage d'eau pour se refroidir. Cependant, l'eau qui sert à refroidir les réacteurs provient des cours d'eau ; elle est donc plus chaude en période caniculaire et les rejets d'eau par les centrales contribuent davantage encore à l'augmentation de leur température. Cela a un impact sur l'équilibre de la faune et de la flore, ce qui engendre des vulnérabilités environnementales au risque canicule.

Il existe un seuil de température des cours d'eau à ne pas dépasser, sous peine d'interdire tout rejet d'eau provenant des centrales nucléaires, ce qui est synonyme d'arrêt des centrales. Ceci engendre une coupure d'électricité ayant des répercussions sur le stress thermique, notamment par le dysfonctionnement des stations de pompes d'eau, l'arrêt de la climatisation et de tous les appareils permettant de résister à la chaleur comme les réfrigérateurs. La santé des personnes fragiles se voit affectée, ce qui peut induire des hospitalisations. Par suite, ce sont les capacités d'hébergement des hôpitaux qui sont impactées.

A ces risques s'ajoutent d'autres problèmes également liés à la coupure d'électricité comme l'interruption de certains types de transports en commun. En effet, les fortes températures causent la dilatation -voire même la déformation- des rails des trains, ce qui engendre leur ralentissement. Par conséquent, il peut y avoir une congestion du trafic automobile. Tout cela engendre l'impossibilité pour les employés de rejoindre leurs lieux de travail, ce qui induit des pertes économiques (figure 11)



**Figure 11 : Effets dominos suite à une canicule**

Ainsi, on constate que l'enchaînement des conséquences d'une catastrophe augmente la vulnérabilité du territoire et joue un grand rôle dans la transmission de cette vulnérabilité hors la zone de l'aléa.

## **II. Retour réflexif**

### **a. Approche critique**

Cette dernière partie est consacrée à la présentation des limites et des perspectives de mon travail, avec une prise du recul par rapport à la démarche que j'ai proposée pour évaluer la vulnérabilité du panel des UU de MApUCE.

### **i. Approche générique basée sur la définition retenue de la vulnérabilité**

La démarche que je propose est une démarche générique adaptée au panel de 56 UU de MApUCE. Je l'ai construite en me basant sur une certaine définition de la vulnérabilité (I.4.a. i). En termes d'analyse, cela suppose de tenir compte du fait que la vulnérabilité résulte de l'interaction de deux composantes : l'une statique et l'autre dynamique.

En ce qui concerne le volet statique, je l'ai abordé à travers l'analyse des types de facteurs générateurs de vulnérabilité. En effet, l'analyse de ces facteurs m'a conduit à identifier les éléments les plus fragiles et sensibles d'un territoire, et dont la fragilité augmente la vulnérabilité urbaine.

Pour ce qui est du volet dynamique, je l'ai analysé à travers les effets dominos, du fait que l'analyse des différentes réactions en chaîne permet d'évaluer la capacité d'un territoire à faire face à une perturbation, mais aussi sa capacité à retrouver un nouvel état d'équilibre. Ainsi, plus les effets dominos sont nombreux, plus faible sera la capacité de faire face à la crise. Ce mécanisme fait appel au concept de résilience que j'ai évalué à travers l'aptitude des enjeux majeurs relatifs au risque canicule de transmettre leurs vulnérabilités hors la zone d'aléa et de créer des effets en chaîne.

La démarche que je propose pour évaluer la vulnérabilité restreint l'analyse à un état ponctuel dans le temps. Réellement, pour évaluer la vulnérabilité territoriale d'une manière objective et précise, il conviendrait de penser à tracer les trajectoires futures de la vulnérabilité (Magnan, Duvat, et Garnier, 2012) étant donné que l'état même du territoire évolue dans le temps.

### **ii. Approche par indicateurs**

La démarche d'évaluation de vulnérabilité que je propose est basée sur des indicateurs. En effet, pour chaque type de facteurs générateurs de vulnérabilité, j'ai présenté un panel d'indicateurs permettant d'estimer pour chacun sa contribution dans la vulnérabilité globale d'une UU.

Cette approche par indicateurs ne peut être réellement représentative de la réalité territoriale dans la mesure où un travail de terrain est primordial pour évaluer la vulnérabilité synthétique d'un territoire de manière à prendre en compte ses spécificités locales.

Enfin, il conviendrait peut-être de construire un indicateur synthétique de vulnérabilité à partir des indicateurs élémentaires que j'ai proposés. Mais, on peut se demander si cette construction est vraiment possible dans la mesure où elle supposerait de prendre en compte de la même manière des facteurs physiques et d'autres sociaux. Je compte approfondir cette réflexion pendant ma thèse.

#### **b. Difficultés rencontrées durant le stage : contraintes imposées par le projet**

Le travail sur des concepts polysémiques comme la vulnérabilité et la résilience dans un contexte interdisciplinaire comme celui du projet MApUCE était assez difficile à gérer, en particulier la nécessité de mobiliser divers outils et méthodes propres à différentes disciplines -comme la géographie ou la climatologie urbaine- en vue d'analyser des facteurs de nature différente.

Produire un cadre théorique et méthodologique complet permettant d'évaluer la vulnérabilité urbaine s'est avéré difficile compte tenu de la faible durée du stage (quatre mois). Le temps imparti était d'autant plus court que j'ai consacré les deux premières semaines au renforcement de mes compétences en géomatique et cartographie. A cela s'ajoute une semaine de formation que j'ai passée à Chypre. Cette formation intitulée en anglais « URBAN PHYSICS: multi-scale, multi-phase and multi-disciplinary »<sup>6</sup>, était organisée par l'université de Chypre, l'Institut Fédéral de Technologie de Zurich et l'Université Technique d'Eindhoven. Il s'agissait d'une formation interdisciplinaire qui m'a permis de m'acculturer aux principes de la climatologie urbaine et aux études des phénomènes climatiques à différentes échelles. Cette école de printemps était une étape préparatoire importante dans la perspective de mon projet de thèse qui s'intitule « **Adapter les Villes du Sud au changement Climatique : quels outils pour accompagner la planification et l'aménagement urbains ?** ».

#### **c. Perspectives**

Mon projet de thèse vise à développer des outils et des démarches permettant de prendre en compte les problématiques climatiques à différentes échelles dans la planification et l'aménagement urbains des villes du Sud. Après une approche globale visant à appliquer la méthode de WUDAPT<sup>7</sup> sur les grandes agglomérations de la région MENA (Moyen-Orient et Afrique du Nord), la recherche sera focalisée sur deux métropoles sur lesquels un travail de terrain sera effectué : le Grand Tunis pour la région Afrique du Nord, et une métropole qui reste encore à choisir au Moyen-Orient. La thèse vise notamment à développer une collaboration avec les acteurs de l'urbanisme sur ces deux terrains, afin d'identifier les vulnérabilités locales liées aux changements climatiques, et de développer ensemble des méthodologies pour une meilleure prise en compte de cette problématique dans le champ de la planification urbaine.

Dans la perspective de préparer ce travail, il me paraissait pertinent d'effectuer un stage pendant cet été au sein de l'Agence d'urbanisme du Grand Tunis (AUGT), en sa qualité de principal acteur de la

---

<sup>6</sup><http://www.urbanphysics.org>

<sup>7</sup><http://www.wudapt.org/wudapt>

planification urbaine du Grand Tunis. Ce stage me permettra de mieux connaître le terrain, de comprendre et d'apprécier les enjeux et les pratiques urbanistiques, et de développer des liens avec les acteurs locaux dans la perspective du travail de thèse.

Ma candidature pour ce stage a été retenue. Il s'agit d'un stage de 6 semaines que j'effectuerai du 15 août jusqu'au 30 septembre, au sein du service de la gestion des informations urbaines de l'AUGT. Durant ce stage, je vais continuer à travailler sur la même problématique d'évaluation de vulnérabilité urbaine. En effet, je vais étudier la vulnérabilité du Grand Tunis au changement climatique. Si la thématique de travail est la même, le terrain est bien différent dans la mesure où il concerne une ville du sud dans laquelle l'enjeu du changement climatique s'ajoute à des défis plus classiques : forte croissance démographique, faible capacité de contrôle de son développement, instabilité politique, etc.

## Bibliographie

- Adger, W Neil. 2006. « Vulnerability ». *Global environmental change* 16 (3): 268-81.
- Barroca, Bruno, Gilles Hubert, et Youssef Diab. 2006. « Vulnérabilité: une clé de lecture du risque inondation ». In . Vol. 2006.
- Barroca, Bruno, Nathalie Pottier, et Emilie Lefort. 2005. « Analyse et évaluation de la vulnérabilité aux inondations du bassin de l'Orge aval ». *Actes des septièmes rencontres de TheoQuant, Atelier 3*.
- Beck, Élise, Christiane Weber, et Michel Granet. 2007. « Identification des effets dominos suite à un séisme; Application à l'agglomération de Mulhouse ». *Actes des Huitièmes Rencontres de Théo Quant*.
- Benzerzour, Mohamed. 2004. « Transformations urbaines et variations du microclimat: application au centre ancien de Nantes et proposition d'un indicateur "morpho-climatique" ».
- Colombert, Morgane. 2008. « Contribution à l'analyse de la prise en compte du climat urbain dans les différents moyens d'intervention sur la ville ».
- d'Ercole, Robert, et Pascale Metzger. 2009. « La vulnérabilité territoriale: une nouvelle approche des risques en milieu urbain ». *Cybergeo: European Journal of Geography*.
- Dauphiné, André, et Damienne Provitolo. 2013. *Risques et catastrophes: observer, spatialiser, comprendre, gérer*. Armand Colin.
- D'Ercole, Robert. 1994. « Mesurer le risque. Le volcan Cotopaxi et les populations proches. » *Enseigner les risques naturels. Pour une géographie physique revisitée*, 111-50.
- Djament-Tran, Géraldine, Antoine Le Blanc, Serge Lhomme, Samuel Rufat, et Magali Reghezza-Zitt. 2011. « Ce que la résilience n'est pas, ce qu'on veut lui faire dire ».
- Faburel, Guillaume. 2008. « Les inégalités environnementales comme inégalités de moyens des habitants et des acteurs territoriaux. Pour que l'environnement soit un facteur réel de cohésion urbaine ». *Espace populations sociétés. Space populations societies*, n° 2008/1: 111-26.
- Gibelin, Anne-Laure, Brigitte Dubuisson, Lola Corre, Nathalie Deaux, Sylvie Jourdain, Laurence Laval, Jean-Michel Piquemal, Olivier Mestre, Denis Denetière, et Stéphanie Desmidt. 2014. « Evolution de la température en France depuis les années 1950: Constitution d'un nouveau jeu de séries homogénéisées de référence ». *Rubrique: Climatologie*.
- Gleyze, Jean-François, et Magali Reghezza. 2007. « La vulnérabilité structurelle comme outil de compréhension des mécanismes d'endommagement ». *Géocarrefour* 82 (1): 17-26.
- Hémon, Denis, et Eric Jouglu. 2003. « Surmortalité liée à la canicule d'août 2003: rapport d'étape ».

- Joly, Daniel, Thierry Brossard, Hervé Cardot, Jean Cavailhes, Mohamed Hilal, et Pierre Wavresky. 2010. « Les types de climats en France, une construction spatiale ». *Cybergeo: European Journal of Geography*.
- Lafrance, Gaëtan, Laurent Da Silva, et Claude Desjarlais. 2006. « IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LA DEMANDE D'ÉNERGIE ».
- Lhomme, Serge, Damien Serre, Youssef Diab, et Richard Laganier. 2010. « Les réseaux techniques face aux inondations, ou comment définir des indicateurs de performance de ces réseaux pour évaluer la résilience urbaine (Urban networks and floods: how to define performance indicators to evaluate urban resiliency) ». *Bulletin de l'Association de géographes français* 87 (4): 487-502.
- Magnan, Alexandre. 2009. « La vulnérabilité des territoires littoraux au changement climatique: mise au point conceptuelle et facteurs d'influence ». *Analyse Iddri* 1.
- Magnan, Alexandre, Virginie Duvat, et Emmanuel Garnier. 2012. « Reconstituer les «trajectoires de vulnérabilité» pour penser différemment l'adaptation au changement climatique ». *Natures Sciences Sociétés* 20 (1): 82-91.
- Metzger, Pascale, et Robert D'Ercole. 2011. « Les risques en milieu urbain: éléments de réflexion ». *EchoGéo*, n° 18.
- Rebotier, Julien. 2012. « Une approche territoriale des risques. Un outil pour le chercheur, critique et réflexif ». *Géographie et cultures*, n° 81: 77-90.
- Reghezza, Magali. 2009. « Géographes et gestionnaires face à la vulnérabilité métropolitaine. Quelques réflexions autour du cas francilien ». In , 459-77. Armand Colin.
- Reiter, Sigrid. 2007. « Elaboration d'outils méthodologiques et techniques d'aide à la conception d'ambiances urbaines de qualité pour favoriser le développement durable des villes ».
- Santamouris, M. 2005. « Chapter 8: Passive Cooling of Buildings ». *Advances in Solar Energy* 16: 295.
- Santamouris, Mat. 2007. « Heat island research in Europe: the state of the art ». *Advances in building energy research* 1 (1): 123-50.
- SOUBEYROUX, JM, M SCHNEIDER, et G OUZEAU. 2014. « RECENSEMENT DES VAGUES DE CHALEUR EN FRANCE À DIFFÉRENTES ÉCHELLES SPATIALES ET ÉVOLUTION EN CONTEXTE DE CHANGEMENT CLIMATIQUE ».
- Thouret, Jean-Claude, et Robert D'ercole. 1996. « Vulnérabilité aux risques naturels en milieu urbain: effets, facteurs et réponses sociales ». *Cahiers des sciences humaines. ORSTOM* 32 (2): 407-22.
- Veyret, Yvette, et Magali Reghezza. 2006. « Vulnérabilité et risques. L'approche récente de la vulnérabilité ». In , 43:9-13.
- Villar, Clara, et M David. 2014. « La résilience, un outil au service des territoires ». In .

Woloszyn, Philippe, et Béatrice Quenault. 2013. « Vulnérabilité territoriale et résiliences: résistances et capacités adaptatives face aux aléas climatiques ».