

La résilience urbaine face aux risques, en contexte de changement climatique - Articuler la gestion des évènements extrêmes et les stratégies de développements des territoires pour opérationnaliser la résilience des villes d'aujourd'hui et de demain - Février 2018

Jérôme Dutozia, Christine Voiron-Canicio

▶ **To cite this version:**

Jérôme Dutozia, Christine Voiron-Canicio. La résilience urbaine face aux risques, en contexte de changement climatique - Articuler la gestion des évènements extrêmes et les stratégies de développements des territoires pour opérationnaliser la résilience des villes d'aujourd'hui et de demain - Février 2018. 2019. halshs-02099289

HAL Id: halshs-02099289
https://shs.hal.science/halshs-02099289

Preprint submitted on 14 Apr 2019

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.

Université Nice Sophia Antipolis | Institut Méditerranéen du Risque, de l'Environnement et du Développement Durable

Membre de UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR

ESPACE

VINCI

La résilience urbaine face aux risques, en contexte de changement climatique



Jérôme Dutozia et Christine Voiron-Canicio

UNS – IMREDD – Laboratoire ESPACE

Avec la collaboration de Karim SELOUANE

VINCI Construction France

Février 2018

La résilience urbaine face aux risques, en contexte de changement climatique

Articuler la gestion des évènements extrêmes et les stratégies de développements des territoires pour opérationnaliser la résilience des villes d'aujourd'hui et de demain

Sommaire

CONTEXTE ACTUEL ET ENJEU D'UNE RECHERCHE APPLIQUEE SUR LA RESILIENCE 5

PARTIE I - ETAT DE L'ART SUR LA RESILIENCE URBAINE 7

1. QUALIFIER LA RESILIENCE 8

1.1. LA RESILIENCE ET SES MULTIPLES ACCEPTIONS 8
1.2. LA RESILIENCE URBAINE ET SES MULTIPLES ACCEPTIONS 10
1.3. LA RESILIENCE ET LA GESTION « POST-CATASTROPHE » 12
1.3.1. RESILIENCE, PRIVILEGIER LE MAINTIEN DU FONCTIONNEMENT PLUTOT QUE LA FORME DU SYSTEME 12
1.3.2. RESILIENCE ET GESTION DES EFFETS DE CASCADE DES RESEAUX TECHNIQUES 15
1.4. RESILIENCE DES RESEAUX ET DES INFRASTRUCTURES CRITIQUES 20
1.4.1. L'INGENIERIE DE LA RESILIENCE DES RESEAUX 20
1.4.2. DES OUTILS CONÇUS DANS UNE OPTIQUE DE RECHERCHE-ACTION ET DE COORDINATION DES GESTIONNAIRES DE SERVICES 20
1.5. DES DEMARCHES D'ANALYSE SPATIALE SUR LA RESILIENCE DES RESEAUX ET LES TERRITOIRES 24
1.5.1. ARTICULER UNE APPROCHE DE LA RESILIENCE DES INFRASTRUCTURES ET DE LA RESILIENCE DES TERRITOIRES 24
1.5.2. SCReD, DEMARCHE D'ANALYSE SPATIALE DES SYSTEMES DE RISQUES ET DE DETECTION DES ESPACES A ENJEUX 26
1.5.3. L'EXEMPLE DES SYSTEMES DE RISQUES INONDATION-COUPURE ELECTRIQUE A MARSEILLE 28
1.6. LA TRAJECTOIRE DE LA RESILIENCE URBAINE : UNE STRATEGIE D'ACTION EN TROIS TEMPS : AVANT, PENDANT ET APRES LA CRISE 32

PARTIE II - RESILIENCE URBAINE ET POLITIQUES PUBLIQUES 34

1. LES POLITIQUES INTERNATIONALES ET NATIONALES, CADRES D'ACTION POUR LA RESILIENCE DES VILLES 35

2. LES PRATIQUES CONVENTIONNELLES DE L'AMENAGEMENT REPONDENT-ELLES AUX ENJEUX DE LA VILLE RESILIENTE ? 42

2.1. SOLUTIONS « VERTES » CONTRE SOLUTIONS « GRISES » 42
2.2. LE CONCEPT DE RESILIENCE, DEVELOPPE EN GEOGRAPHIE DES RISQUES, EST ENCORE MECONNU DES PRATICIENS 46
2.3. LES CONTRADICTIONS DES POLITIQUES PUBLIQUES SECTORIELLES 46
2.4. LE VOLET « MIEUX VIVRE EN ZONE INONDABLE » DE LA STRATEGIE NATIONALE DE GESTION DU RISQUE D'INONDATION (2014) 47

3. DE L'ANALYSE INTEGREE DE RESILIENCE TERRITORIALE AU PROJET DE TERRITOIRE 51

PARTIE III - PERSPECTIVES 53

1. PRINCIPES GENERAUX 54

1.1. DE NOUVEAUX QUESTIONNEMENTS 54
1.2. LA RESILIENCE COMME MOYEN DE REALISER LA DURABILITE URBAINE 55
1.3. NECESSITE D'UNE COMPLETE REFONTE DU MODELE DE RESILIENCE URBAINE 56
1.4. LA RESILIENCE DES TERRITOIRES ET DES RESEAUX COMME MOYEN DE RAISONNER SUR L'ARTICULATION DES RESILIENCES INDIVIDUELLES, LOCALES ET GLOBALES 57

2. LES AXES ET THEMATIQUES A DEVERROUILLER 58

2.1. LES MANQUES ET THEMATIQUES A DEVERROUILLER DANS L'AXE « RESILIENCE ET GESTION DES EVENEMENTS A RISQUES » 58
2.1.1. UNE ONTOLOGIE DE LA RESILIENCE DES VILLES 58
2.1.2. LA RESILIENCE DES VILLES AU-DELA DE LA RESILIENCE DE SES INFRASTRUCTURES 58
2.1.3. BESOIN DE PASSERELLES, D'ESPACES DE DIALOGUES ET D'OUTILS FACILITANT LES ECHANGES ENTRE LE GENIE CIVIL ET LES SHS 59
2.1.4. « UN DEVOIR PENSER LA TECHNIQUE DANS LES LIEUX » (FERRIER, 2002) 59
2.1.5. ANTICIPER LA RECONSTRUCTION ET LE RELEVEMENT DES VILLES APRES UNE CATASTROPHE 59
2.2. LES MANQUES ET THEMATIQUES A DEVERROUILLER DANS L'AXE « RESILIENCE ET DEVELOPPEMENT DURABLE DES TERRITOIRES » 60
2.2.1. ANTICIPER LES FUTURS URBAINS POUR UNE RESILIENCE DURABLE DES TERRITOIRES 60

3. LES PROPOSITIONS D'ACTIONS : 62

3.1. PROPOSITIONS D'ACTIONS POUR L'AXE « RESILIENCE ET ÉVENEMENTS CLIMATIQUES » 62
3.2. PROPOSITIONS D'ACTIONS POUR L'AXE RESILIENCE ET DEVELOPPEMENT DURABLE DES TERRITOIRES 62

CONCLUSION 64

BIBLIOGRAPHIE 67

TABLES DES ILLUSTRATIONS 75

Contexte actuel et enjeu d'une recherche appliquée sur la résilience

Malgré une situation en milieu dit-tempéré (hors frange méditerranéenne), et une exposition à un risque sismique faible ou du moins très localisé (Sud-Est), deux tiers des communes de France métropolitaine sont concernés par un ou plusieurs risques naturels. Les pertes humaines et les coûts financiers colossaux observés lors de récentes catastrophes naturelles (entre 1 et 1,5 milliard d'euros pour les seules inondations de juin 2016 en France) témoignent par ailleurs du niveau de vulnérabilité des territoires. Également, les risques techniques et hybrides (ou nat-tech) contribuent à ces situations à risques et possibles catastrophes majeures, avec 58 réacteurs nucléaires répartis sur 19 sites, 1 261 sites industriels Seveso (700 classés seuil haut, 561 classés seuil bas) et plus largement un territoire et une société fortement dépendants des services fournis par les réseaux techniques.

Ce premier enjeu d'une exposition effective des territoires aux risques se double d'une incertitude forte, caractéristique d'une période de transition, au cours de laquelle on admet que les futurs possibles, tant en termes de risques et de tensions, que d'opportunités et d'innovations, sont en grande partie imprévisibles. La mondialisation, l'accélération technique, la transition écologique, le changement climatique et l'augmentation, désormais reconnue inévitable, de la fréquence et l'ampleur des évènements extrêmes ; longue est la liste des processus amorcés dont les effets sociétaux, spatiaux et environnementaux ne sont que partiellement saisis et contribuent à rendre l'avenir des villes hautement incertain.

La résilience interroge ces dynamiques d'évolution, leurs combinaisons et les trajectoires territoriales qui en découlent. Elle propose un cadre conceptuel que les institutions internationales et françaises, estiment adéquat pour améliorer l'aptitude des territoires à faire face à des perturbations et pour accompagner un processus de changement à la fois subi et choisi. Le concept de résilience trône donc, depuis une dizaine d'années, en bonne place dans des rapports et directives françaises, européennes et internationales (ONU, 2005, 2015), sans pour autant qu'on soit clairement en capacité de la définir, l'estimer ou la mettre en œuvre. Le passage du conceptuel à l'opérationnel est donc loin d'être une évidence et une réalité, ce qui explique sans doute, qu'on retrouve la résilience plus facilement citée dans des rapports globaux ou nationaux, que dans une traduction locale et territorialisée.

À l'interface des recherches sur le risque et sur la durabilité urbaine, la résilience des villes a fait l'objet de nombreuses publications, ces dernières années. L'approche qui prédomine, privilégie la résilience face au risque inondation dans une optique plus conceptuelle qu'opérationnelle. Par ailleurs, un décalage apparaît entre les recherches menées sur ce sujet, et l'intégration de démarches résilientes dans les politiques des collectivités comme dans les services publics et privés. Une illustration en est donnée par la quasi absence du terme résilience dans les retours d'expérience qui ont suivi les deux dernières graves inondations qui ont touché les grandes aires urbaines françaises, celles d'octobre 2015, sur la Côte d'Azur, et celles de mai et juin 2016, dans les bassins moyens de la Seine et de la Loire. Toutefois, le concept fait son chemin. Il en est pour preuve la mention plus fréquente du terme résilience

dans les analyses et les réflexions portées sur les crues répétitives de la Seine, consécutives aux inondations de janvier 2018.

Le concept de résilience territoriale se rattache au paradigme du développement durable. La résilience constitue un moyen de penser le maintien ou l'adaptation d'un territoire dont les composantes et le fonctionnement peuvent être analysés selon les principes de durabilité (Da Cunha, 2017). De l'hybridation entre résilience et durabilité est née une relation renouvelée à l'avenir. Pour Franck Scherrer, le paradigme du développement durable a réintroduit un nouvel horizon intergénérationnel de l'action collective mais relativement utopique. L'adaptation inhérente à la résilience permet que l'incertitude face à l'avenir ne vienne pas annihiler l'action stratégique (Scherrer, 2017).

Désormais, la construction de la ville résiliente nécessite que les urbanistes et les architectes de paysage assurent la prise en compte des effets à long terme dans les décisions liées à l'aménagement des territoires prises aujourd'hui. De même, elle impose aux acteurs locaux de ne pas se cantonner à la gestion des risques dans une optique technico-fonctionnelle mais de connaître la vulnérabilité sociale et territoriale de leur collectivité.

La première partie de ce rapport de pré-étude présente la variété des approches existantes sur la résilience et les nombreuses définitions susceptibles de lui être associées. Dans un second temps, en nous intéressant à la place de la résilience dans les politiques publiques, nous mettons en lumière les problèmes que portent le passage du concept à l'action, et notamment, la délicate question de mettre en œuvre une politique publique à partir d'un concept pour lequel il n'existe pas de définition consensuelle, et encore moins d'outil de mesure. Enfin la troisième partie ouvre des perspectives en termes de piste de recherches, de programmes d'actions et de formations, qui compte tenu des éléments des deux parties précédentes, nous paraissent nécessaires pour une opérationnalisation fructueuse du concept de résilience dans les recherches et politiques d'aménagement du territoire et de gestion des risques.

PARTIE I - ETAT DE L'ART SUR LA RESILIENCE URBAINE

1. Qualifier la résilience

1.1. La résilience et ses multiples acceptions

Le concept de résilience reste flou, tout comme l'est sa définition. En effet, la définition de la résilience a varié non seulement au cours du temps, mais également selon l'approche disciplinaire, comme en témoignent les définitions relevées dans la littérature anglo-saxone (Tableau 1, page 9).

- Resilience is "a measure of the persistence of systems and of their ability to absorb change and disturbance and still maintain the same relationships between populations or state variables" (Holling 1973).
- Resilience is "the capacity to cope with unanticipated dangers after they have become manifest, learning to bounce back.'' (Wildavsky 1991, p. 77)
- Resilience is "the ability of a system to withstand stresses of 'environmental loading'... [it is] a fundamental quality found in individuals, groups, organizations, and systems as a whole." (Horne and Orr 1998, p. 31)
- Resilience is "the capacity to adapt existing resources and skills to new situations and operating conditions.'' (Comfort 1999, p. 21)
- Resilience is "both the inherent strength and ability to be flexible and adaptable after environmental shocks and disruptive events." (Tierney and Bruneau 2007, p. 17)
- Resiliency is "the capability of an asset, system, or network to maintain its function during or to recover from a terrorist attack or other incident." (U.S. Department of Homeland Security 2006)
- Resilience is the "ability to resist, absorb, recover from or successfully adapt to adversity or a change in conditions." (U.S. Department of Homeland Security Risk Steering Committee 2008)
- Resilience is the "ability of systems, infrastructures, government, business, and citizenry to resist, absorb, recover from, or adapt to an adverse occurrence that may cause harm, destruction, or loss of national significance." (U.S. Department of Homeland Security Risk Steering Committee 2008)
- Resilience is the "capacity of an organization to recognize threats and hazards and make adjustments that will improve future protection efforts and risk reduction measures." (U.S. Department of Homeland Security Risk Steering Committee 2008)
- Resiliency is "defined as the capability of a system to maintain its functions and structure in the face of internal and external change and to degrade gracefully when it must." (Allenby 2005)
- "Regional economic resilience is the inherent ability and adaptive response that enables firms and regions to avoid maximum potential losses." (Rose and Liao 2005)
- "Engineering resilience […] is the speed of return to the steady state following a perturbation […] ecological resilience […] is measured by the magnitude of disturbance that can be absorbed before the system is restructured…." (Gunderson et al. 2002)

• Social resilience as the ability of groups or communities to cope with external stresses and disturbances as a result of social, political, and environmental change (Adger 2000). • Resilience is “the essence of sustainability […] the ability to resist disorder.” (Fiksel 2003) • “Local resiliency with regard to disasters means that a locale is able to withstand an extreme natural event without suffering devastating losses, damage, diminished productivity, or quality of life and without a large amount of assistance from outside the community.” (Mileti 1999)

Tableau 1 : Définitions de la résilience retenues par Vugrin et al., 2010)

Il est important de préciser que ces définitions traitent de la résilience en général, et non spécifiquement de la résilience des villes et des territoires qui seront abordées par la suite.

Sans chercher à les confronter, la comparaison met néanmoins en lumière plusieurs éléments. On y retrouve notamment la « classique » distinction (Gunderson et al., 2002) entre engineering resilience, fondée sur la notion de temps de retour à l’état initial, et celle d’ecological resilience (Holling, 1973), fondée sur l’intensité maximale de changement et de perturbation qu’un système est capable d’absorber tout en maintenant sa structure.

Il est également intéressant de noter :

- Une évolution dans certaines définitions comme celles, par exemple, du U.S. Department of Homeland, qui est très focalisé sur la question du terrorisme en 2006, avant d’envisager la résilience dans une optique beaucoup plus ouverte en 2008.

- Certaines définitions font référence à la question de l’inattendu, aux dangers non anticipés (Wildavsky 1991), cette question de « l’effet de surprise » et de l’imprévisibilité est d’ailleurs un élément de plus en plus essentiel dans les travaux actuels autour de la résilience.

- Egalement, on peut noter que si une majorité des définitions contiennent la référence à la notion de chocs, d’évènements ou de stress externes, certaines définitions se veulent plus générales, et n’évoquent pas ces notions de chocs au profit d’une approches autour des notions de changements et de nouveautés (Comfort, 1999), (Allenby 2005) ou encore de résistance au désordre (Fiksel, 2003).

- Ce dernier considère par ailleurs, la résilience comme « the essence of sustainability », en termes d’articulation entre la résilience et la durabilité des territoires, il n’y aurait donc pas, de son point de vue, de contradiction ou de réactualisation entre les deux concepts. C’est un élément qui mériterait d’être interrogé, tant sur un plan conceptuel qu’opérationnel, et pour lequel nous proposerons des pistes d’actions et de recherches dans la troisième partie.

1.2. La résilience urbaine et ses multiples acceptions

A l'instar de la résilience, les acceptions et définitions de la résilience urbaine sont nombreuses et produisent le même flou. Mearow et al (2016) ont recensé dans la littérature scientifique internationale 25 définitions, dont la liste – non exhaustive - est reportée dans le (Tableau 2, page 11) tiré de leur article, et qui émanent de différents champs disciplinaires.

De l'analyse de ces définitions, les auteurs relèvent des contradictions qu'ils rangent dans six registres de « tensions conceptuelles » portant sur :

- la définition de l'«urbain »,
- l'état d'équilibre ; divergences sur l'existence de domaine de stabilité ou d'équilibre non stable,
- la résilience urbaine considérée comme un concept positif, car permettant de sortir d'un état antérieur présentant des fragilités, ou comme un concept dangereux car conduisant au retour à un état antérieur non désirable,
- les divergences sur le processus de résilience : persistance dans un état ou au contraire d'évolution vers un autre état,
- l'échelle temporelle de mise en œuvre de la résilience, temps court *vs* temps long,
- la résilience urbaine spécifique *vs* générale, adaptation par rapport à des risques connus *vs* adaptabilité face à des risques inconnus.

Les auteurs proposent leur propre définition censée lever les ambiguïtés relatives à ces six registres :

«Urban resilience refers to the ability of an urban system-and all its constituent socio-ecological and socio-technical networks across temporal and spatial scales-to maintain or rapidly return to desired functions in the face of a disturbance, to adapt to change, and to quickly transform systems that limit current or future adaptive capacity».

Cette définition fait écho à celle de Laganier et al (2017) : « La résilience urbaine n'est pas seulement la capacité à faire face à l'évènement majeur et à absorber les crises. C'est aussi la capacité de la ville à se renouveler en permanence et à assimiler les perturbations et crises récurrentes ou à venir en s'adaptant et en anticipant ces évènements ».

	Author (year)	Subject area	Citation count	Definition
1	Alberti et al. (2003)	Agricultural and biological sciences; environmental science	212	"… the degree to which cities tolerate alteration before reorganizing around a new set of structures and processes" (p. 1170).
2	Godschalk (2003)	Engineering	113	"… a sustainable network of physical systems and human communities" (p. 137).
3	Pickett et al. (2004)	Agricultural and biological sciences; environmental science	101	"… the ability of a system to adjust in the face of changing conditions" (p. 373).
4	Ernstson et al. (2010)	Environmental science; social sciences	46	"To sustain a certain dynamic regime, urban governance also needs to build transformative capacity to face uncertainty and change" (p. 533).
5	Campanella (2006)	Social sciences	44	"… the capacity of a city to rebound from destruction" (p. 141).
6	Wardekker et al. (2010)	Business management and accounting; psychology	30	"… a system that can tolerate disturbances (events and trends) through characteristics or measures that limit their impacts, by reducing or counteracting the damage and disruption, and allow the system to respond, recover, and adapt quickly to such disturbances" (p. 988).
7	Ahern (2011)	Environmental science	24	"… the capacity of systems to reorganize and recover from change and disturbance without changing to other states … systems that are "safe to fail" (p. 341).
8	Leichenko (2011)	Environmental science; social sciences	20	"… the ability … to withstand a wide array of shocks and stresses" (p. 164).
9	Tyler and Moench (2012)	Environmental science; social sciences	11	"… encourages practitioners to consider innovation and change to aid recovery from stresses and shocks that may or may not be predictable" (p. 312).
10	Liao (2012)	Environmental science	6	"… the capacity of the city to tolerate flooding and to reorganize should physical damage and socioeconomic disruption occur, so as to prevent deaths and injuries and maintain current socioeconomic identity" (p. 5).
11	Brown et al. (2012)	Environmental science; social sciences	5	"… the capacity … to dynamically and effectively respond to shifting climate circumstances while continuing to function at an acceptable level. This definition includes the ability to resist or withstand impacts, as well as the ability to recover and re-organize in order to establish the necessary functionality to prevent catastrophic failure at a minimum and the ability to thrive at best" (p. 534).
12	Lamond and Proverbs (2009)	Engineering	5	"… encompasses the idea that towns and cities should be able to recover quickly from major and minor disasters" (p. 63).
13	Lhomme et al. (2013)	Earth and planetary sciences	4	"… the ability of a city to absorb disturbance and recover its functions after a disturbance" (p. 222).
14	Wamsler et al. (2013)	Business management and accounting; energy; engineering; environmental science	3	"A disaster resilient city can be understood as a city that has managed… to: (a) reduce or avoid current and future hazards; (b) reduce current and future susceptibility to hazards; (c) establish functioning mechanisms and structures for disaster response; and (d) establish functioning mechanisms and structures for disaster recovery" (p. 71).
15	Chelleri (2012)	Earth and planetary sciences; social sciences	2	"… should be framed within the resilience (system persistence), transition (system incremental change) and transformation (system reconfiguration) views" (p. 287).
16	Hamilton (2009)	Engineering; social sciences	2	"ability to recover and continue to provide their main functions of living, commerce, industry, government and social gathering in the face of calamities and other hazards" (p. 109)
17	Brugmann (2012)	Environmental science; social sciences	1	"the ability of an urban asset, location and/or system to provide predictable performance – benefits and utility and associated rents and other cash flows – under a wide range of circumstances" (p. 217).
18	Coaffee (2013)	Social sciences	1	"… the capacity to withstand and rebound from disruptive challenges …" (p. 323).
19	Desouza and Flanery (2013)	Business management and accounting; social sciences	1	"ability to absorb, adapt and respond to changes in urban systems" (p. 89).
20	Lu and Stead (2013)	Business management and accounting; social sciences	1	"… the ability of a city to absorb disturbance while maintaining its functions and structures" (p. 200).
21	Romero-Lankao and Gnatz (2013)	Environmental science; social sciences	1	"… a capacity of urban populations and systems to endure a wide array of hazards and stresses" (p. 358).
22	Asprone and Latora (2013)	Engineering	0	"… capacity to adapt or respond to unusual often radically destructive events" (p. 4069).
23	Henstra (2012)	Social sciences	0	"A climate-resilient city … has the capacity to withstand climate change stresses, to respond effectively to climate-related hazards, and to recover quickly from residual negative impacts" (p. 178).
24	Thornbush et al. (2013)	Energy; engineering; social sciences	0	"… a general quality of the city's social, economic, and natural systems to be sufficiently future-proof" (p. 2).
25	Wagner and Breil (2013)	Agricultural and biological sciences	0	"… the general capacity and ability of a community to withstand stress, survive, adapt and bounce back from a crisis or disaster and rapidly move on" (p. 114).

Tableau 2 : Définitions de la résilience urbaine retenues par Mearow et al (2016)

1.3. La résilience et la gestion « post-catastrophe »

1.3.1. Résilience, privilégier le maintien du fonctionnement plutôt que la forme du système

La définition traditionnelle de la résilience est essentiellement post-traumatique et post-choc, en psychologie, dans les recherches d'Emmy Werner et Ruth Smith sur les trajectoires de développement d'enfants victimes de maltraitances ou de pauvreté (Werner, Smith, 1992), tout comme dans les travaux de Boris Cyrulnik sur les survivants des camps de concentration nazis (Cyrulnik, 2002) ; la résilience s'analyse en rapport à un évènement ou une période traumatisante et possiblement destructrice pour l'individu. De même, en physique des matériaux, domaine d'origine du concept de résilience, l'essai de Charpy (1901) mesure la résilience en fonction de l'énergie de rupture, la force qu'un matériau est capable d'absorber en maintenant sa forme, on retrouve donc également cette idée de réaction à un choc. Ainsi, appliquée aux territoires urbains, la résilience a largement été utilisée dans un contexte d'analyse des risques de type évènementiel, de catastrophes, d'accidents et de possibles ruptures brutales dans l'équilibre d'un système territorial.

Dans ce cadre, le concept de résilience se trouve notamment associé au concept de "survivability" (Farrel et al., 2002, Sterbenz et al. 2010) qui considère : « it is clear that defense is no longer the best strategy to pursue. Rather than attempting to develop an invulnerable fortress, it makes more sense to improve the "survivability" of the system» (Farrel et al., 2002). L'enjeu de la résilience consiste alors à maintenir une continuité de service (l'approvisionnement en électricité dans l'article cité) malgré l'endommagement d'une ou de plusieurs composantes du réseau technique. La résilience est donc une propriété réactive du réseau capable de fonctionner en mode dégradé ; on distingue donc le réseau comme forme matérielle, dont on accepte l'inévitable endommagement, du service qu'il fournit, dont on cherche le maintien malgré l'endommagement (notamment grâce à la redondance et au caractère maillé du réseau). Les auteurs relient également des propriétés structurelles et organisationnelles du réseau électrique avec la vulnérabilité qui en découle et souligne l'inévitable vulnérabilité d'un système électrique centralisé et fondé sur des points névralgiques (les grandes centrales de production par opposition à un système de production décentralisé : « The current electricity system with its large, central generators and long transmission and distribution lines is inherently vulnerable. In contrast, a system with many small generators located at large customers or in neighborhoods could be made much less vulnerable. These systems would still be grid-connected but could operate when the grid went down. »

Le concept de résilience urbaine est également associé à celui de "recovery", (récupération) (Vale, Campanela, 2005) dans une analyse sur le renouvellement et la persistance de grandes villes à la suite de catastrophes naturelles, de bombardements ou d'émeutes. Pour le cas de la Nouvelle-Orléans et la catastrophe Katrina en aout 2005, par exemple, Campanella (2006) explique comment, l'ouragan a doublement atteint la ville, en détruisant non seulement, une partie importante des bâtiments de la ville, mais également son tissu social en raison de l'évacuation massive des habitants (alors qu'une partie des populations plus pauvres ou non-mobiles était abritée dans le Super Dôme). Il distingue ainsi le processus de reconstruction qui concerne les bâtiments, les réseaux et les formes matérielles de la ville, de celui de

récupération qui concerne plus largement son fonctionnement sociétal et l'identité d'un lieu en expliquant « it is possible for a city to be reconstructed, even heroically, without fully recovering. Put another way, resilience involves much more than rebuilding » ou encore «Urban recovery occurs network by network, district by district, not just building by building; it is about reconstructing the myriad social relations embedded in schools, workplaces, childcare arrangements, shops, places of worship, and places of play and recreation».

Dans les deux cas, la propriété de résilience d'un système (électrique dans le premier cas, urbain dans le second) porte donc moins sur la forme et la matérialité du système urbain que sur son fonctionnement. Le concept de "survivability" renvoie au maintien du fonctionnement malgré l'endommagement de la forme, alors que la récupération renvoie à la restauration du fonctionnement du système plutôt qu'à la reconstruction de sa forme matérielle.

Des recherches fortement opérationnelles permettent également de tester des démarches d'estimation de la résilience et proposent des articulations entre différents concepts, qui constituent pour leurs auteurs des composantes à prendre en compte pour estimer la résilience d'un système. Le modèle opérationnel proposé par Vugrin et al en 2010 considère par exemple un modèle en 3 étapes : pour envisager la résilience des infrastructures critiques, il s'agirait de comprendre comment les systèmes absorbent, s'adaptent et récupèrent à la suite d'un choc (Figure 1, page 13).

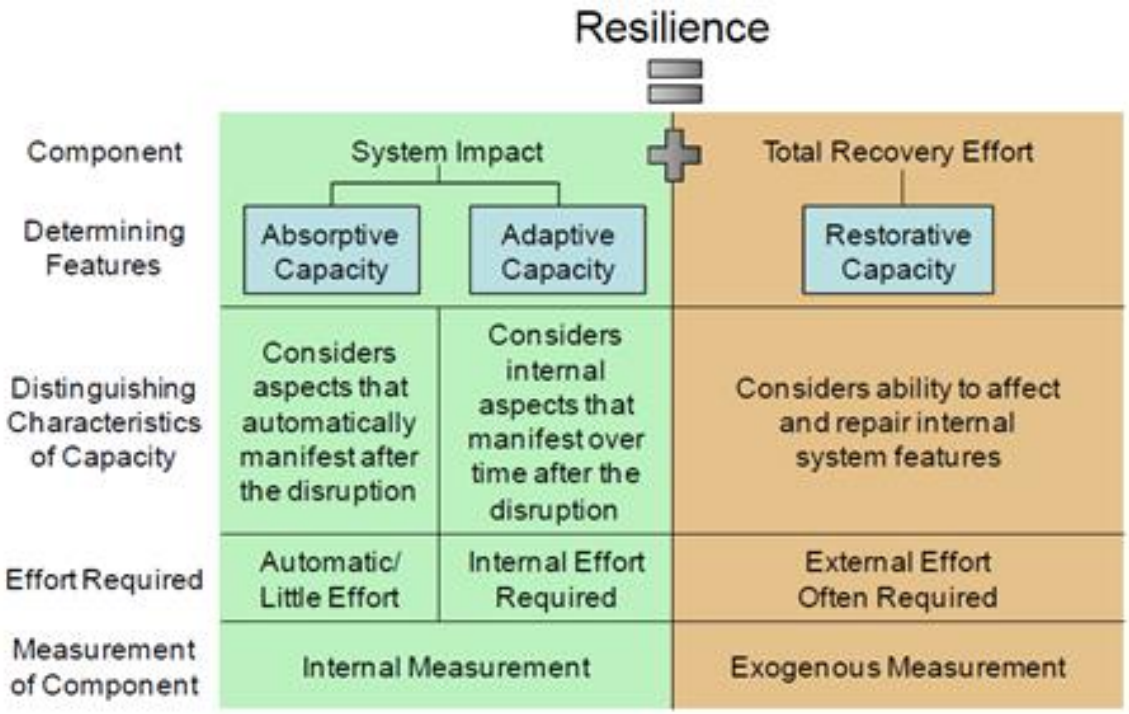


Figure 1 : La résilience comme capacité d'absorption, d'adaptation et de restauration. (Vugrin et al.2010)

Un des intérêts de la démarche réside, selon ses auteurs, dans le fait d'évaluer non seulement la performance du système en fonction de l'ampleur des dommages et de leurs durées (capacité d'absorption et capacité d'adaptation), mais également de considérer l'importance de l'effort nécessaire pour assurer la restauration du système à travers une estimation du coût

de restauration. Ainsi, à degré de performance équivalent de deux systèmes, celui pour lequel la restauration est moins coûteuse, sera considérée comme d'avantage résilient. La méthode est testée dans les villes de La Nouvelle Orléans et de Dallas sur la base de scénarios où des ouragans associés à des coupures électriques impactent l'industrie chimique pendant plusieurs dizaines de jours (Figure 2, page 14).

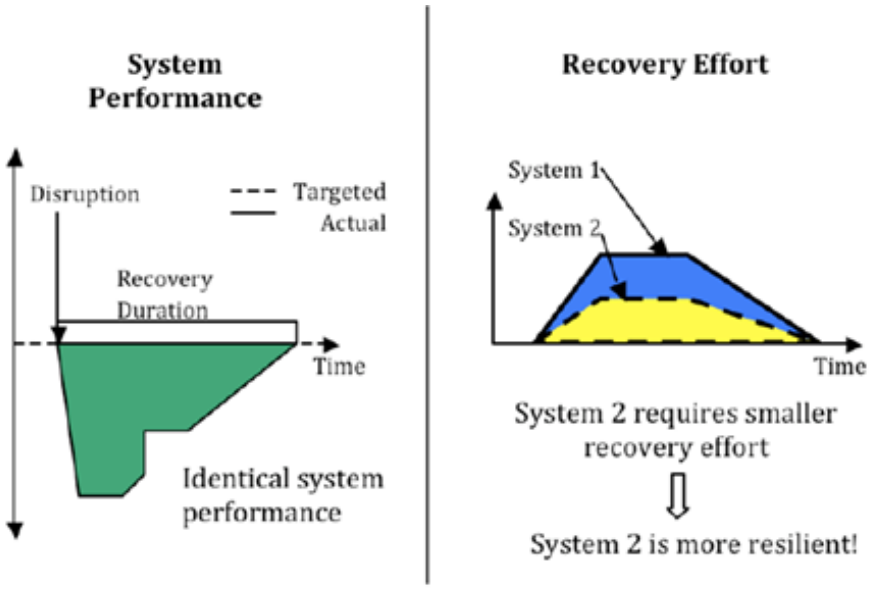


Figure 2 : Comparaison graphique de la résilience de deux systèmes (Vugrin et al.2010)

Toutefois, il est important de souligner que les estimations restent qualitatives et ne s'appuient pas sur des données empiriques. On aborde alors un point essentiel concernant l'état des recherches sur la résilience des territoires et des organisations aux catastrophes naturelles et technologiques : le grand nombre de travaux conceptuels ou méthodologiques autour de cette question tranche singulièrement avec le très faible nombre de travaux et d'applications (rétrospectives et prospectives) qui parviennent à mettre en œuvre ces démarches en s'appuyant sur des données d'observations de situations passées.

En effet, si les retours d'expériences sont devenus une pratique courante à la suite de catastrophes ou d'accidents, la construction de base de données qui combineraient par exemple, les impacts et les coûts localisés aux différents types de réseaux par exemple, n'est pas encore dans les pratiques. De plus, il reste extrêmement délicat d'estimer les coûts globaux associés à ces évènements du fait de la complexité des chaines de dommages directs et indirects qu'ils engendrent. On peut s'en rendre compte en considérant par exemple les estimations des coûts des catastrophes passées qui varient parfois du simple au triple selon les organismes. Si les assurances fournissent des estimations globales, les données détaillées et localisées des dommages observés ne sont que partielles (dommages déclarés aux biens assurés) et ne font pas l'objet de bases de données mises à dispositions de la communauté scientifique ou des gestionnaires de territoires.

1.3.2. Résilience et gestion des effets de cascade des réseaux techniques

Toujours dans une logique post-évènement, une partie notable des travaux sur la résilience urbaine porte également sur le comportement dynamique des infrastructures et des réseaux techniques pendant et à la suite d'une inondation ou d'un séisme. Si la grande majorité de ces recherches est centrée essentiellement sur la dimension physique de l'infrastructure, une partie également s'inscrit dans une démarche pluridisciplinaire, ou du moins, une conception plus holistique de l'endommagement du réseau. Parmi les quelques recherches qui tendent vers cette conception plus ouverte, nous avons choisi d'en présenter deux.

La première porte sur la vulnérabilité sismique des réseaux électriques avec des démarches appliquées à la région de Memphis dans le Tennessee (Shinozuka, Rose, Eguchi et al., 1998) puis à l'agglomération de Los Angeles en Californie (Shinozuka, Chang, Cheng, 2003, Shinozuka et al. 2007). Ces analyses s'inscrivent dans une démarche « intégrée » croisant ingénierie et approche socioéconomique des impacts des séismes, et sont menées dans le cadre du MCEER (Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research) depuis le milieu des années 1990. L'impact sociétal est principalement appréhendé dans sa dimension économique à court et moyen terme, afin de mieux évaluer le coût global de ces évènements (Rose, 1998, 2006). Cette information est évidemment déterminante afin d'évaluer l'investissement et le niveau « rentable » de protection des infrastructures pour limiter ces évènements.

La seconde traite de la vulnérabilité des réseaux routiers aux inondations, et du risque de thrombose urbaine dans la ville de Nice, et s'appuie sur l'utilisation d'un « système d'information géographique à des fins géoprospectives » (Voiron-Canicio et Olivier, 2003). Si les enjeux économiques sont au cœur des recherches présentées dans le paragraphe précédent, cette démarche est davantage orientée vers la protection des populations vulnérables (Voiron-Canicio, Olivier, 2005) et les enjeux sanitaires liés aux déficits d'accessibilité des territoires en période d'inondation (Voiron-Canicio et al., 2005).

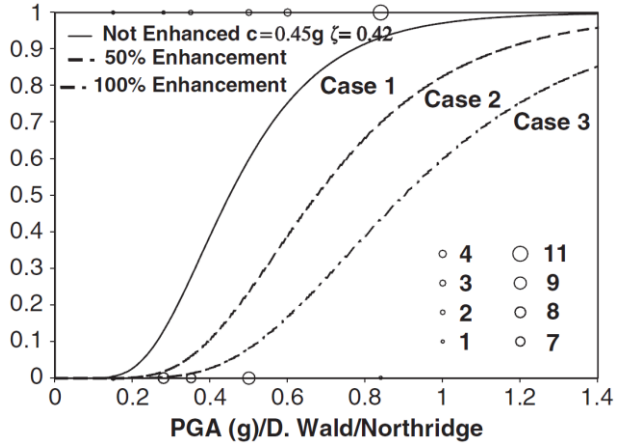
Ces deux recherches qui semblent sans rapport, tant elles portent sur des territoires, des aléas naturels, des réseaux, des finalités et des méthodes différentes, relèvent pourtant, toutes deux, d'une approche complexe du risque où la composante réseau est à la fois impactée et impactant.

L'exemple de la vulnérabilité sismique des réseaux électriques dans les agglomérations américaines de Memphis et de Los Angeles

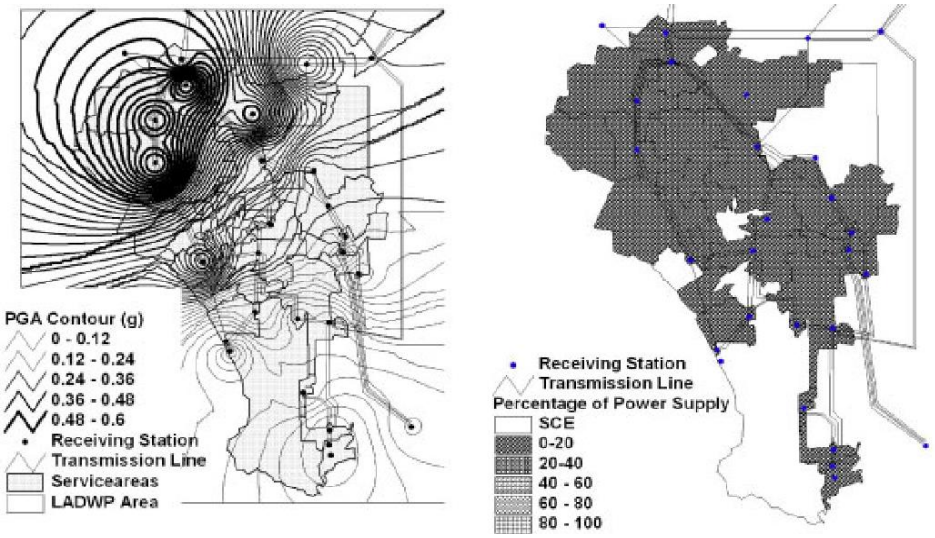
Les approches de type ingénierie des risques (et des réseaux) représentent assez logiquement une part importante des travaux sur la thématique de la fragilité physique des infrastructures. On retrouve dans ce cadre, de très diverses applications allant des expériences « crash-test » en laboratoire pour tester la résistance des postes électriques à une secousse sismique, à la modélisation probabiliste des niveaux d'endommagement des infrastructures pour un aléa d'une intensité variable. Ces derniers modèles ont recours le plus souvent à ce que l'on appelle des courbes de dommages qui associent une probabilité d'endommagement pour une composante du réseau et une variable liée à l'intensité physique de la perturbation d'origine

naturelle, par exemple, la hauteur d'eau ou la turbidité pour une inondation, la force du vent pour le risque associé aux tempêtes ou le pic d'accélération locale pour un séisme (PGA).

Les courbes de fragilité présentées en Figure 3 (page 16) sont construites à partir des données d'endommagement des transformateurs de poste d'électricité haute tension, observées lors du séisme de magnitude 6.7 à Northridge en 1994 (Shinozuka, 1998). Ces données empiriques apparaissent en forme de cercle sur les axes en abscisses de la courbe. Les cercles sur l'axe supérieur (probabilité de défaillance = 1) indiquent le nombre de transformateurs des postes électriques endommagés, ventilé en fonction de la force de destruction qui découlait de l'aléa sismique (mesuré en fonction du pic d'accélération locale PGA en g) ; sur l'axe inférieur figure le nombre de transformateurs intacts également ventilé de la même manière. Par exemple, sur l'ensemble des postes du réseau, les 11 transformateurs exposés à un PGA légèrement supérieur à 0.8g ont été détruits lors du séisme, 4 ont été détruits en étant exposés à un PGA de 0.5g alors que 8 ont résisté.



(a)



(b) (c)

Figure 3 (a) : Courbes de fragilités associant une probabilité d'endommagement des réseaux électriques liée à l'intensité sismique exprimée en fonction du pic d'accélération (PGA) à partir des données du séisme de Northridge de 1994 ; (b) : simulation des pics d'accélérations sismiques ; (c) : simulation des effets induits en termes d'approvisionnement électrique (Source : Shinozuka et al., 1998).

A partir de ces données empiriques sur la distribution ventilée des dommages en fonction des PGA, la courbe de fragilité pour le séisme de Northridge est déduite à partir d'une fonction log-normale dans laquelle on considère :

Les courbes de fragilité, résultant de l'analyse des corrélations spatiales entre les dommages observés et la variabilité spatiale de l'aléa, permettent de transformer une information empirique sur les dommages des séismes en connaissance probabiliste sur la résistance physique des infrastructures. A partir de différents scénarios de simulations de séismes probables et de ces courbes de fragilité, il est alors possible de simuler, à partir de tirages de Monte Carlo, des scénarios de dommages directs sur le réseau électrique. Dans la démarche présentée dans (figure 11) (Shinozuka et al., 2007), 50 scénarios de propagations de séismes sont simulés ; chacun des 50 scénarios donne lieu à 20 simulations aléatoires des endommagements physiques du réseau à partir des courbes de fragilité (pour trois types de composantes du poste électrique : transformateurs, coupe circuit et aiguilleur, qui disposent chacune de leurs propres courbes de fragilité). Du fait du cumul de l'incertitude sur la perturbation sismique et de celle sur les impacts directs, 1000 scénarios d'endommagements possibles des réseaux électriques par les séismes sont produits.

Les impacts directs et indirects sur les activités économiques

Ces scénarios d'endommagements sont des points possibles de déclenchements des défaillances en cascades et se situent en amont du système de risques. Il s'agit ensuite de simuler les perturbations des dynamiques de flux électriques que génère la suppression d'une ou plusieurs composantes du réseau électrique. Ces simulations sont réalisées à partir d'un logiciel spécifique aux réseaux électriques développé par EPRI (Electrical Power Research Institute) dont le fonctionnement consiste à chercher par itération, un nouvel équilibre entre offre – demande électrique, en délestant la puissance fournie à différents nœuds. Pour chacun des postes du réseau électrique, on est alors en mesure de donner la quantité d'énergie non fournie et la quantité de foyers coupés pour un scénario donné d'impacts directs. Nous reviendrons sur la délimitation des zones de dessertes du réseau électrique dans la partie 2.

A partir de ces informations sur la quantité d'énergie non fournie, (Rose et al., 1997) tiennent compte de la dépendance différenciée à l'électricité selon les secteurs d'activités économiques, des interdépendances entre les secteurs d'activités (à partir d'une matrice d'entrée-sortie des transactions financières entre les 21 secteurs d'activités de la zone) et de la différenciation de la coupure dans l'espace et dans le temps, pour évaluer plus finement le niveau de dysfonctionnement des activités économiques et le coût réel des dommages indirects de la coupure électrique. Le coût global est estimé en termes de réduction du produit régional brut (disponible également par secteur d'activités économiques), et témoigne de l'importance des dommages indirects (le fait qu'une entreprise n'ait pas d'électricité pénalise sa capacité à produire), et induits (le fait qu'une entreprise ne puisse pas produire pénalise la production d'une autre entreprise) de la coupure électrique.

Le temps de restauration (et donc la durée de la panne) intervient bien sûr fortement dans l'estimation de ces coûts ; dans le cas du séisme de Northridge par exemple, certaines zones

sont restées privées d'électricité jusqu'à 15 semaines après l'impact initial. Sans détailler la méthode employée, on retiendra pour l'instant qu'elle peut être modélisée à partir de deux règles simples (Chang, 1997) :

- La restauration débute par les zones de moindres dommages pour terminer par les zones de plus grands dommages.
- La restauration procède de manière non linéaire dans le temps, une grande partie des clients est rapidement restaurée, et une minorité ne le sera que bien plus tardivement.

La vulnérabilité du réseau routier aux inondations et le risque de thrombose urbaine dans la ville de Nice

Malgré des différences thématiques, géographiques et méthodologiques, les deux approches présentées dans le cadre de l'état des recherches sur les risques naturels et la vulnérabilité des réseaux ont en commun le souci de travailler à la fois sur l'impact direct au réseau, la diffusion du dommage initial par le réseau et l'impact de ces dysfonctionnements réticulaires sur le fonctionnement des territoires. Dans le cas précédent, les impacts sociétaux associés aux dysfonctionnements des réseaux sont appréhendés dans une optique d'estimation des pertes économiques à court et moyen terme. Dans le cas présent, l'étude est davantage menée dans une perspective de gestion de crise et de protection des personnes vulnérables.

Le déclenchement du système de risques est cette fois lié à une inondation, et situe explicitement l'Espace et le réseau routier au cœur de la modélisation du risque. La démarche repose sur une distinction fondamentale entre espaces à enjeux statiques et espaces à enjeux dynamiques. Ces espaces ponctuels à enjeux statiques relèvent de trois catégories :

- les espaces publics qui concentrent une masse importante de population (centres commerciaux, culturels, sportifs),
- les espaces qui concentrent beaucoup de populations vulnérables (crèches, hôpitaux, écoles, maisons de retraite),
- les espaces ayant un rôle essentiel dans la gestion des situations de crises (centres de police, casernes de pompiers, relais électrique ou de télécommunication, hôpitaux).

Ces derniers espaces ne sont pas plus fragiles ou plus exposés au risque que les autres espaces par contre ce sont des espaces à enjeux, car leur destruction augmenterait l'impact d'un aléa en réduisant la capacité de sécurisation des espaces. On peut dire que globalement, les espaces vulnérables à enjeux statiques sont relativement simples à identifier et que les critères utilisés pour les définir peuvent changer selon la problématique et le risque considéré.

En revanche, pour anticiper les espaces vulnérables à enjeux dynamiques, une simulation du système urbain en état de crise (post aléa) doit être mise en œuvre. En effet, les espaces à enjeux dynamiques doivent, en quelque sorte, être révélés par une perturbation qui va désordonner le système territorial. Dans le cas suivant (Figure 4, page 19, Voiron-Canicio,

Olivier, 2005), il s'agit de simuler les conditions d'accessibilité des territoires de l'agglomération niçoise en période d'inondation, afin d'identifier des espaces à enjeux dynamiques (zones inaccessibles en situation d'inondation), qui peuvent également correspondre à des espaces à enjeux statiques (par exemple, un hôpital ou une maison de retraite peut devenir inaccessible en situation d'inondation). La méthode permet donc d'identifier des espaces à enjeux dans les systèmes de risques qui peuvent, sans être directement intégrés dans le premier périmètre de l'aléa, faire pourtant pleinement partie du système de risque.

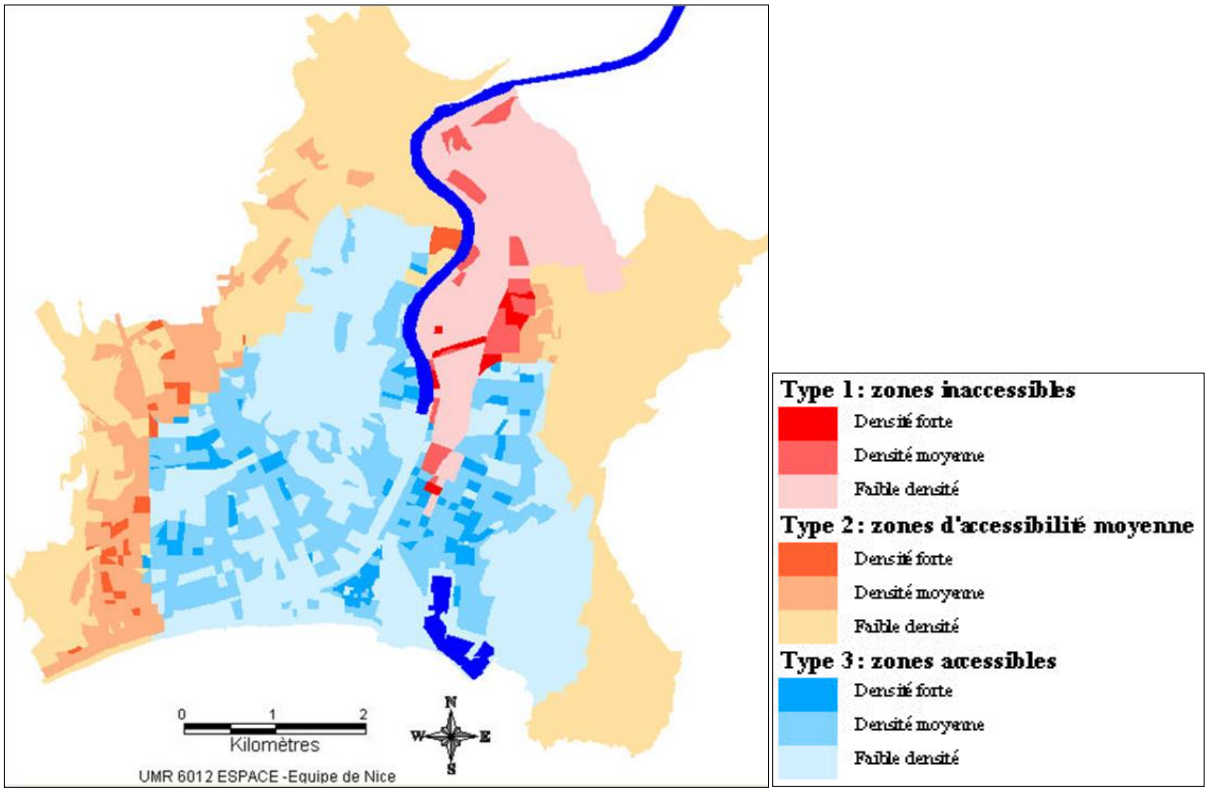


Figure 4 : Densité démographique et niveau d'accessibilité en période d'inondation du Paillon dans la commune de Nice (Source : Voiron-Canicio, Olivier, 2005)

L'anticipation des cascades d'impacts directs et indirects successifs à l'endommagement d'une composante du système technique, initialement centrée sur un seul type de réseau technique (routier ou électrique par exemple), s'est par la suite étendue en tenant compte des interdépendances entre les différents types de réseaux techniques et on dénombre à l'heure actuelle, un nombre relativement important de modèles traitant de ces interdépendances (Pederson et al. 2006, Satumtira, Duenas-Osorio, L. 2010). **D'une logique mono-aléa et mono-infrastructurelle, on passe donc progressivement et non sans difficulté à une logique multi-aléa et multi-infrastructurelle.**

1.4. Résilience des réseaux et des infrastructures critiques

1.4.1. L'ingénierie de la résilience des réseaux

La résilience des réseaux est considérée comme un préalable nécessaire, mais pas suffisant, à la résilience de la ville (Barroca et al., 2012, Lhomme, 2012 ; Toubin, 2014) aussi, l'ingénierie de la résilience, s'emploie-t-elle à anticiper les risques de défaillance des infrastructures, à détecter les dysfonctionnements, à évaluer les possibilités de continuité des services, et la capacité de rétablissement. Les aires urbaines soumises au risque d'inondation, et/ou touchées par des coupures électriques sont les terrains privilégiés pour les expérimentations de méthodes et d'outils d'aide à la décision.

Les recherches qui sont conduites dans ce domaine reposent sur :

- Une approche intégrée pour comprendre les interdépendances multidimensionnelles des réseaux et des services – électricité, hydrocarbures, gaz, eau, télécommunications – pour ne citer que les plus influents sur les autres services urbains. Dans ce cadre, la structure du système des services urbains se caractérise par un état à un temps t, déterminé par des flux d'entrée qui sont les ressources nécessaires au fonctionnement du système et les flux de sortie, ressources nécessaires au fonctionnement d'autres systèmes. Le nombre d'intrants détermine son potentiel de défaillances, et le nombre d'extrants, son potentiel de propagation.
- L'analyse du triptyque ville-réseau-risque qui s'appuie sur la connaissance des interactions des réseaux techniques et des réseaux d'acteurs – gestionnaires, opérateurs de services, etc.
- Un diagnostic des interdépendances, plus ou moins poussé selon les niveaux spatiaux considérés. Il s'opère généralement en deux temps. Tout d'abord, un autodiagnostic sectoriel mené par chaque service, public et privé, destiné à déceler les défaillances, leurs causes et leurs conséquences ; puis, le croisement des interdépendances et des défaillances lors d'ateliers collaboratifs permettant de partager cette connaissance, de hiérarchiser les problèmes au moyen d'un graphe d'interdépendances à partir duquel s'ouvre une phase de réflexion sur des pistes de solutions techniques et organisationnelles (Toubin, 2014).
- Une attention particulière est portée au fonctionnement dégradé d'une infrastructure. La résilience étant définie comme la capacité d'un réseau à maintenir ou à rétablir un fonctionnement acceptable malgré des perturbations (Gonzva, 2017). L'outil DOMINO, présenté ci-dessous, en est un exemple.

1.4.2. Des outils conçus dans une optique de recherche-action et de coordination des gestionnaires de services

DOMINO

Le système expert DOMINO, a été développé par le Centre Risque & Performance de Polytechnique Montréal, selon « l'approche par conséquences ». Il évalue les impacts de la perte d'une ressource d'une infrastructure sensible – appelée réseau essentiel (RE) – sur

d'autres RE interdépendants. La résilience prend appui sur les notions d'acceptabilité des défaillances et de continuité d'activité. Elle est envisagée comme l'aptitude à maintenir des conditions acceptables de fonctionnement, malgré des perturbations, permettant d'assurer la sécurité des personnes et des biens.

DOMINO évalue la performance sur la capacité d'un réseau essentiel à accepter, planifier et anticiper des perturbations. Le potentiel de résilience d'un réseau est établi sur la base de trois indicateurs opérationnels renseignant sur la capacité à gérer l'imprévu (notion d'acceptation), sur la capacité de réponse (notion de planification), et sur la capacité à surveiller ce qui se passe en interne ainsi que dans l'environnement extérieur (notion d'anticipation). « La cohérence entre ces indicateurs permet d'apprécier la résilience globale, de poser un diagnostic, et de proposer des actions pour renforcer le potentiel de résilience » (Robert et al., 2017).

L'objectif est de fournir aux gestionnaires une vision des problèmes qui pourraient être engendrés par des actions décidées lors de la gestion d'une crise. Les résultats de l'analyse de cohérence sont présentés sous la forme d'un tableau de bord, comme celui du Tableau 3 portant sur un exercice réalisé en 2012, dans un secteur de la ville de Montréal.

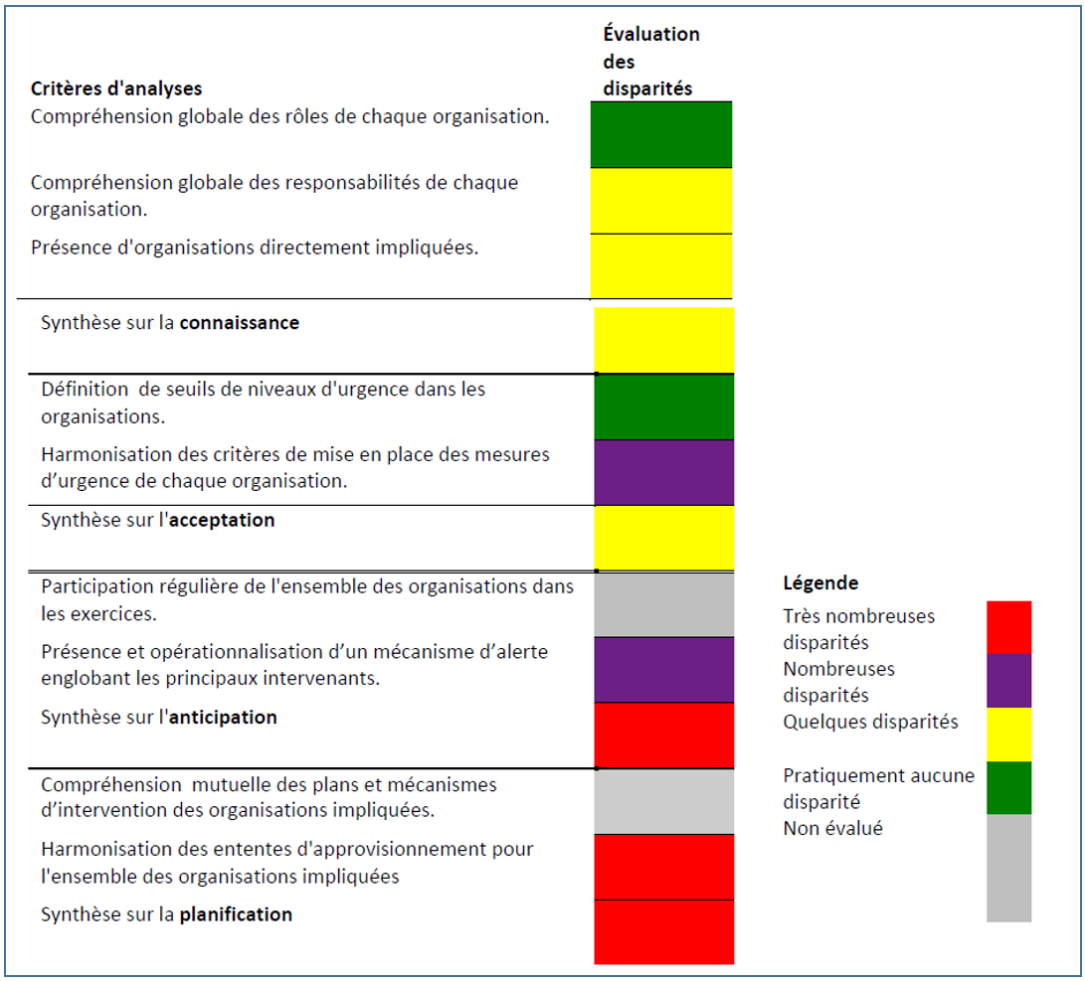


Tableau 3 : Exemple de tableau de bord pour l'analyse de la cohérence (Robert et al., 2017)

HAZUR®

L'outil de décision HAZUR® est conçu selon le même principe. Développé par Opticits, spin-off issue de l'Université Ramon Lhull et de la ville de Barcelone, HAZUR® est à la fois une méthode et un logiciel d'analyse et gestion de la résilience, qui permet, face au risque urbain, naturel et/ou technologique, d'une part, de diagnostiquer les points critiques dans les interconnexions des services tant privés que publics, et d'autre part, de rendre la gestion de la ville plus transversale. HAZUR® a été créé en partant de la prémisse que tous les services doivent être gérés de façon intégrée (Figure 5).

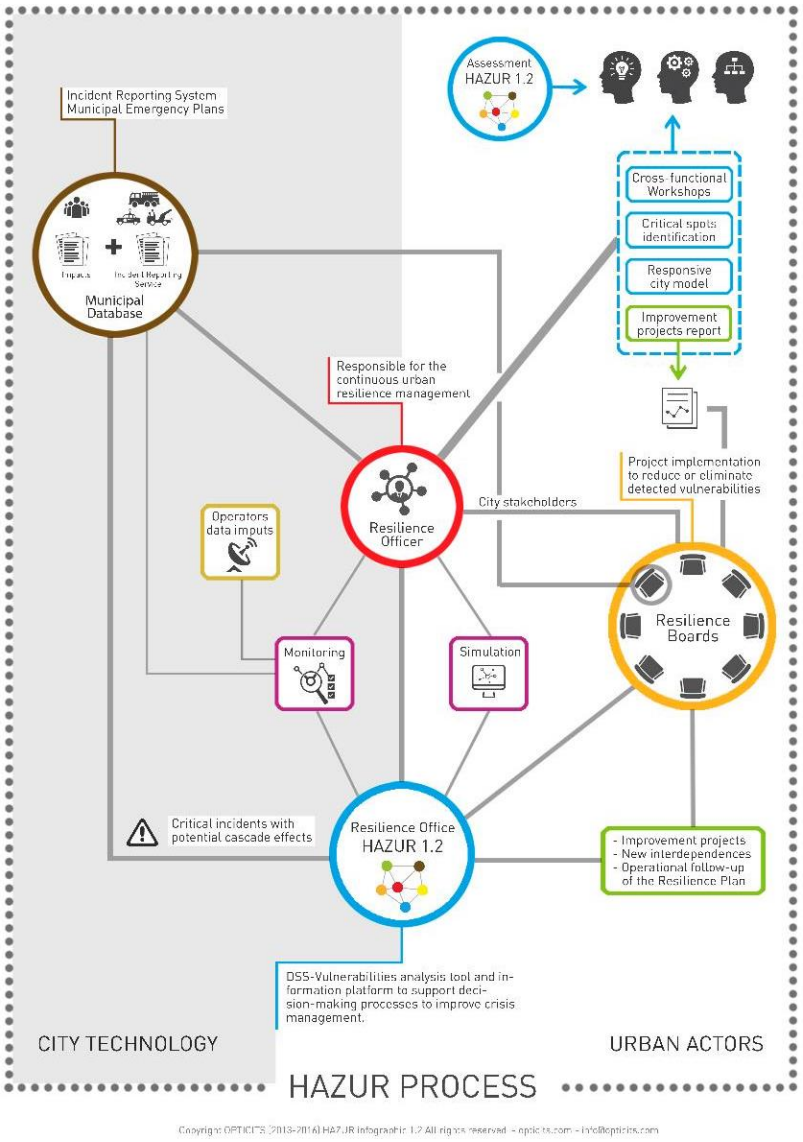


Figure 5 : La structure du « bureau de résilience urbaine » du modèle HAZUR

Un premier module permet de recueillir, d'analyser et de fusionner des informations diverses issues de capteurs, de bases de données, et de dires d'expert. La méthode prévoit l'organisation d'ateliers des acteurs de la ville afin d'obtenir les informations critiques sur les services, les infrastructures, leurs interdépendances, les conditions environnementales et les

conséquences des impacts. Cette phase aboutit à l'élaboration du graphe des interdépendances des réseaux de services et des infrastructures. Cette analyse technique est renforcée par la création d'un Bureau ou d'un Comité de résilience urbaine qui va s'appuyer sur les résultats de ce diagnostic et sur des outils numériques de gestion pour implémenter un « système de gestion de la résilience urbaine » dans les opérations de la ville, inspiré des systèmes de gestion de la qualité ou des systèmes de gestion de la continuité d'activités dans les entreprises.

Un deuxième module permet de surveiller la ville à partir d'indicateurs clés, d'anticiper des évènements éventuels et de réagir rapidement. Il donne également la possibilité de simuler les effets des impacts sur les infrastructures et sur la temporalité de la propagation des effets dominos, d'identifier des points de rupture dans la continuité des services et le temps nécessaire pour retrouver le fonctionnement initial. Des simulations peuvent être réalisées pour détecter des effets cascade consécutifs à une option d'amélioration entraînant des changements dans les réseaux de services et d'infrastructures.

La ville de Barcelone a été pionnière dans cette démarche et OptiCits a participé depuis ses origines en tant que spin-off universitaire à la création de son système de gestion actuel (Figure 6). La méthodologie et l'outil HAZUR ont été créés suite aux expériences pilotes avec les services techniques de la ville de Barcelone et les fondateurs d'OptiCits.

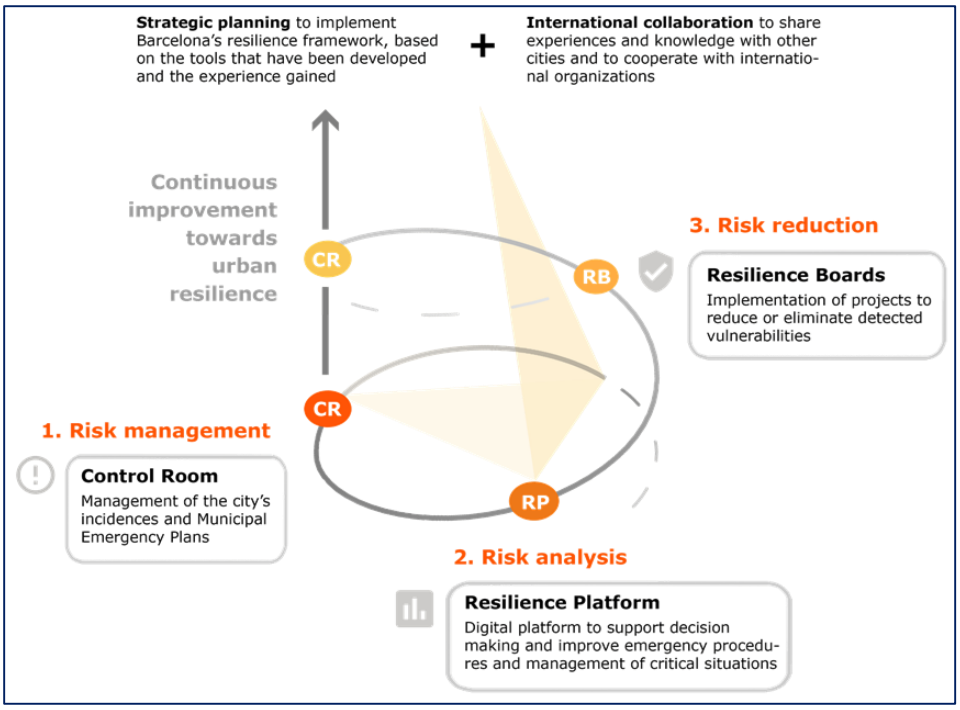


Figure 6 : Le modèle de résilience urbaine adopté par la ville de Barcelone.

La résilience urbaine, longtemps circonscrite à l'ingénierie des infrastructures urbaines, s'étend désormais au fonctionnement des territoires urbains, dans ses multiples dimensions, sociales, culturelles, historiques, et dans une moindre mesure, spatiales.

1.5. Des démarches d'analyse spatiale sur la résilience des réseaux et les territoires

1.5.1. Articuler une approche de la résilience des infrastructures et de la résilience des territoires

Dans les applications présentées, la dimension spatiale consiste, en premier lieu, à reconstituer, au moyen d'une carte, l'étendue de l'aléa et des dommages lors d'un épisode passé (Toubin, 2014), ou bien de scénarios, dans un contexte de préparation à la gestion de crise (Robert, 2012). Dès lors que le diagnostic descend à l'échelle locale, la localisation de chaque équipement et réseau informe sur sa position relative par rapport à l'aléa, et aux perturbations induites. Cette position, associée à d'autres informations telles que les connexions avec les autres équipements, l'état de vétusté de l'infrastructure renseigne sur sa vulnérabilité propre, laquelle rejaillit sur le fonctionnement de l'ensemble.

Toutefois, la connaissance des interactions territoire-réseau reste très incomplète pour diverses raisons tenant, d'une part, aux données manquantes, incertaines, non diffusées pour cause de confidentialité, et d'autre part, à la méconnaissance de la dynamique spatio-temporelle du risque. Si les approches et modélisations systémiques des phénomènes de risques sont relativement nombreuses, les approches du système de risques et des défaillances en cascade en tant que dynamiques spatiales font globalement défaut. Cette lacune est même perçue par certains auteurs comme plus fondamentalement liée à une prise en compte biaisée de l'espace et du territoire, dans l'analyse du risque : « il y a eu méprise sur l'objet risque. La pensée sur le risque reste une pensée essentiellement externalisante. C'est-à-dire qu'elle le traite comme un objet externe aux espaces qu'il touche. Or, le processus de traduction donne à penser que le risque est littéralement ancré dans les espaces » (November, 2006). La critique d'un territoire à risque où l'espace serait restreint à un rôle de support n'est d'ailleurs pas propre à l'analyse des risques. Elle peut être étendue plus largement à la question du rôle et de la prise en compte de l'espace dans la modélisation des phénomènes géographiques complexes et en particulier, ceux à l'interface de la Nature et de la Société (Voiron-Canicio, 2005).

Le couplage aléa-vulnérabilité qui sert le plus souvent de fondement à la cartographie du risque apparaît alors comme une limite dans la prise en compte de la complexité spatiale des territoires à risques, qu'elle maintient par ailleurs dans une dimension passive. Cette limite s'avère d'autant plus pénalisante dans l'analyse d'effets dominos et de réactions en chaînes initiées par le comportement perturbé des systèmes territoriaux et non directement par cette perturbation.

Une autre critique importante porte sur le fait que la définition des territoires à risques est le plus souvent construite dans un univers probabiliste qui est en fait peu adapté, dans la mesure où il postule d'une hypothèse de stationnarité ne s'observant pas dans la nature ni sur des périodes longues. Cette non-stationnarité est mise en avant dans le cas des risques naturels, avec la question du réchauffement climatique et des épisodes pluvieux extrêmes. Dans le cadre des systèmes de risques liés aux coupures électriques par exemple, l'hypothèse de stationnarité qui sous-tend un modèle probabiliste est assez peu recevable, et le caractère

« émergent » de crises de grandes ampleurs associées à ces coupures, renforce ce caractère inadapté.

Même si les pannes électriques à petite échelle existaient déjà il y a un demi-siècle, leurs récurrences ou leurs effets sur le fonctionnement des systèmes territoriaux ont fortement varié dans l'espace et dans le temps, et se posent en des termes différents aujourd'hui qu'ils ne se posaient en 1980 ou en 1950, en raison de la taille des réseaux mais également en raison de la dépendance sociétale accrue. D'autre part, plusieurs auteurs soulignent le caractère « hors cadres » de plusieurs évènements associés à ces défaillances des réseaux techniques. Cette absence de cadre, c'est-à-dire de référentiels rétrospectifs fiables sur une longue période, contribue également à rendre l'approche probabiliste peu adaptée aux systèmes de risques. Enfin, dans un système de risques ancré dans les interdépendances réseaux-territoires, l'analyse de la vulnérabilité d'un lieu n'a de sens que si elle prend en compte la vulnérabilité de l'ensemble du ou des systèmes de lieux auquel il appartient.

Pour les risques associés aux défaillances des réseaux techniques, les causes profondes qui conduisent à l'émergence d'évènements à risques de grande ampleur peuvent être organisées autour de quatre axes : la croissance des réseaux techniques et de leurs interdépendances, l'interdépendance spatiale produite par la structure des réseaux techniques, la dépendance sociétale aux services fournis par les réseaux, la dépendance environnementale, l'exposition à des impacts naturels et la fragilité matérielle des réseaux techniques.

Dans ce cadre, la recherche ne porte plus uniquement sur la dimension réticulaire du système électrique, mais bien sur les interdépendances réseaux - territoires et les systèmes de risques inhérents à cette interdépendance. La capacité de propagation des pannes sur des échelles spatiales importantes ne constituerait pas un risque si parallèlement la dépendance sociétale à l'électricité était très faible, ou si l'électricité était facilement substituable par une autre énergie. C'est donc la combinaison de ces phénomènes et non leur réalisation distincte qui constitue le terreau des systèmes de risques. Un intérêt de cette recherche réside dans ce parti pris : considérer le risque au niveau des défaillances des réseaux techniques mais aussi et surtout, au niveau du comportement dynamique des systèmes territoriaux soumis à une perturbation des réseaux techniques. De plus, ancrer le système de risques dans les interdépendances des réseaux et des territoires plutôt que le « centrer » uniquement sur le réseau nous paraît une perspective plus adaptée à une analyse géographique puisque « le fondement de la géographie, est d'identifier et comprendre les lieux, les réseaux qui les lient, les territoires qu'ils forment. » (R. Brunet, 1995).

Dans un contexte d'interconnexions des réseaux techniques sur de grandes distances et plus largement de fonctionnement globalisé des territoires et des réseaux, il en découle une forme de vulnérabilité qu'on peut qualifier d'ubiquiste. Si on prend l'exemple d'une ville française face au risque de coupure électrique par exemple, cette coupure pouvait être liée à une avarie sur un système fonctionnant à l'échelle régionale en 1930, à l'échelle nationale à partir de 1946 et à l'échelle européenne à l'heure actuelle. À partir de là, on comprend qu'il est tout simplement devenu impossible d'envisager l'ensemble des scénarios d'endommagement possibles pour un lieu donné. À cet égard, le retour d'expérience réalisé sur les inondations de 2016 dans les bassins de la Seine et de la Loire souligne la nécessité d'intégrer incertitude

et dynamique de l'aléa, et de modifier en permanence les prévisions des SCHAPI[1] pour incorporer de nouvelles informations et corriger leurs diagnostics[2] (CGEDD 2017).

1.5.2. SCReD, démarche d'analyse spatiale des systèmes de risques et de détection des espaces à enjeux

La démarche SCReD – Susceptibilité, Criticité, Récupération et Dépendance (Dutozia, 2013) est une démarche de diagnostic axée sur les structures et les dynamiques spatiales des systèmes de risques et sur la détection des espaces à enjeux et des effets de réseaux dans les systèmes de risques. La notion d'espaces à enjeux a été privilégiée plutôt que celle de territoires vulnérables, notion à laquelle est associée une déclinaison d'enjeux, correspondant à des propriétés territoriales et réticulaires susceptibles de posséder un effet sur les systèmes de risques. Une distinction est opérée entre espaces à enjeux statiques et espaces à enjeux dynamiques. Les premiers sont identifiables avant le déclenchement des catastrophes, et correspondent aux lieux renfermant des populations ou des biens vulnérables, mais également aux lieux essentiels à la gestion de crise et des secours. Les seconds sont « plus difficiles à discerner car ils n'apparaissent comme tels que dans des circonstances particulières. Leur émergence est liée, par exemple, au dysfonctionnement des relations intra-urbaines dans un contexte d'inondations » (Voiron-Canicio, Olivier, 2005). L'idée d'émergence de nouveaux espaces à enjeux au cours de la crise est importante et renvoie aux questions d'effets dominos et de dynamique spatiale des systèmes de risques. Elle implique de donner aux systèmes de risques une certaine épaisseur temporelle, et à l'espace, une dimension d'agent dans le système de risques, afin de prendre en compte des impacts qui ne sont pas le résultat direct et immédiat de la perturbation mais le résultat indirect et différé du comportement perturbé du système territoire-réseau.

La démarche articule les concepts de susceptibilité, de criticité, de récupération et de dépendance (SCReD) pour envisager les systèmes de risques à l'interface de la nature, de la technique et de la société.

La susceptibilité, « composante spatiale de l'aléa » (Malet et al., 2006) se focalise sur les propriétés des espaces favorables aux déclenchements des systèmes de risques. On retrouve assez communément cette acceptation de la susceptibilité notamment dans l'analyse des

[1] Service central d'hydrométéorologie et d'appui à la prévision des inondations

[2] « Le maximum atteint par la crue en un lieu, l'heure et la date, mais aussi la durée de ce maximum et la rapidité de la décrue, sont les informations dont les décideurs ont besoin. Cette prévision, qui est celle d'un hydrogramme complet et non d'une cote unique, doit pour être pertinente, être entourée d'une courbe enveloppe des incertitudes qui montre qu'à la fois le maximum, la date et la durée sont incertains, dans des proportions qui sont variables selon les événements et selon l'horizon de prévision qui est déterminant pour l'appréciation de ces incertitudes. Les décideurs oublient souvent qu'une crue n'est pas un événement qui est né à un moment donné et qu'on est en mesure de prévoir dans tout son déroulement dès son origine, mais que c'est un processus dynamique, dans lequel l'assimilation, en cours de route, des informations recueillies, est essentiel pour le voir se dessiner » CGEDD 2017, p. 27.

mouvements de terrain (Barchi et al., 2003). La susceptibilité fait référence à l'interaction territoire – réseau, dans la dimension d'un espace matériel et statique, elle renvoie à un facteur d'exposition des composantes du système technique à des menaces et de déclenchement du système de risques à partir d'un point donné de l'espace.

La criticité, renvoie, quant à elle, au potentiel de diffusion et de déclenchement d'impacts indirects d'un sous-espace sur lequel sont implantés un ou plusieurs éléments des réseaux techniques. On raisonne ici dans la dimension d'un espace relationnel, dynamique, dans lequel les réseaux permettent aux lieux de faire système, et dessinent des trajectoires de possibles diffusions des impacts.
La récupération (Serre, 2011), est centrée sur la dimension temporelle et la notion de durée. Elle renvoie à un facteur de prolongation de la durée du système du risque, avec considération des facteurs susceptibles de prolonger la rupture de services fournis par les réseaux. L'accessibilité des composantes endommagées du système technique et des zones non alimentées par les réseaux, l'importance des moyens humains ou encore la quantité d'équipements disponibles (groupes électrogènes notamment) influent sur le potentiel de récupération pour un territoire donné.

Enfin, la notion de dépendance renvoie à la variabilité des impacts possibles de l'interruption de services d'un réseau selon les individus, les activités économiques ou encore les composantes des réseaux techniques concernées par cette coupure. Ainsi, dans certains contextes, certaines activités et certains individus faiblement dépendants vont pouvoir continuer à fonctionner et vivre de manière correcte malgré l'absence de services fournis par les réseaux alors que pour d'autres cette interruption empêche toute possibilité d'activité et peut même constituer une menace vitale. La dépendance renvoie à un facteur d'aggravation du risque. Elle s'appuie sur la connaissance d'un territoire dans sa dimension sociétale (localisation des populations vulnérables et des établissements accueillant du public, notamment) et de la dépendance différenciée des populations aux services fournis par les réseaux techniques.

Les méthodes issues de la théorie des possibilités (Zadeh, 1978), des espaces géographiques flous (Rolland May, 1987) et la gestion de l'imprécision, peuvent être utilisées comme alternative aux modèles probabilistes, en prenant en compte l'incertitude dans la délimitation des territoires du risque et dans l'analyse des systèmes de risques, dans un cadre statistique moins contraignant et sans doute plus conforme à la complexité des risques dans les territoires.

La démarche géomatique utilisée dans SCReD correspond à un diagnostic de potentialités qui porte sur les espaces à enjeux, les possibles trajectoires de diffusion des impacts, et la réalisation de scénarios complexes mêlant vulnérabilité des réseaux et des territoires.

1.5.3. L'exemple des systèmes de risques inondation-coupure électrique à Marseille

La démarche SCReD est illustrée par une étude de cas portant sur le territoire-réseau de la commune de Marseille en contexte d'inondation. La première phase du diagnostic évalue, pour un sous-espace donné, la possibilité d'être un point de déclenchement d'une coupure électrique en raison de son exposition à l'aléa inondation. L'estimation de la susceptibilité nous a conduit à proposer plusieurs méthodes de fusions de données dont le chainage permet de construire un cadre rétrospectif et spatiale fiable, ou du moins optimisant l'usage d'informations imparfaites et limitées. Parmi ces méthodes, deux ont directement trait à la gestion de données imprécises et incertaines, soit par le biais de grilles imbriquées, soit, comme dans l'exemple présenté ici, en s'appuyant sur la morphologie des objets pour introduire une forme de variabilité supplémentaire, basée sur la distinction entre un noyau de certitude et des limites floues. On considère alors qu'une information désignant un lieu à risque est plus fiable et vraisemblable au cœur du polygone que sur ses bordures.
Ainsi, dans la Figure 7a (page 29), à partir d'un tracé vectoriel désignant un lieu, on établit une bande d'incertitude, qui comprend une partie à l'intérieur du polygone et une partie à l'extérieur, l'intérieur de l'objet en rouge constitue le noyau de certitude, et la possibilité pour qu'il ait été inondé par le passé est plus grande que dans les deux bandes d'incertitude. Le noyau de certitude se voit attribuer une valeur de 1, la bande d'incertitude comprise dans les limites de l'objet une valeur de 0.8 et celle non comprise dans le polygone initial, la valeur de 0.6.

Si ces valeurs restent arbitraires, elles traduisent l'idée d'un gradient dans la fiabilité de l'information, très fiable au niveau du noyau, fiable sur les marges intérieures de ce noyau et moins fiable sur les marges extérieures. Enfin, nous passons dans un mode raster dans lequel pour chaque cellule, la part de surface recouverte par les trois types d'objets est mesurée, puis multipliée par les valeurs liées à leur degré de certitude. Enfin, les résultats sont additionnés (si une cellule contient différents degrés de certitude du polygone de dommages observés). On obtient alors un indice de couverture des mailles (ICM) compris entre 0 et 1, où la valeur 1 est attribuée si la surface de la maille est entièrement recouverte par un polygone compris dans le noyau de certitude. Appliqués aux dommages d'inondations observés dans la presse entre 1950 et 2003, dans la commune de Marseille (Figure 7b, page 29), ce premier indice cellulaire est ensuite multiplié au nombre de postes électriques pour donner une estimation d'un niveau de possibilité de déclenchement du système de risque dans un lieu donné (Figure 7c, page 29).

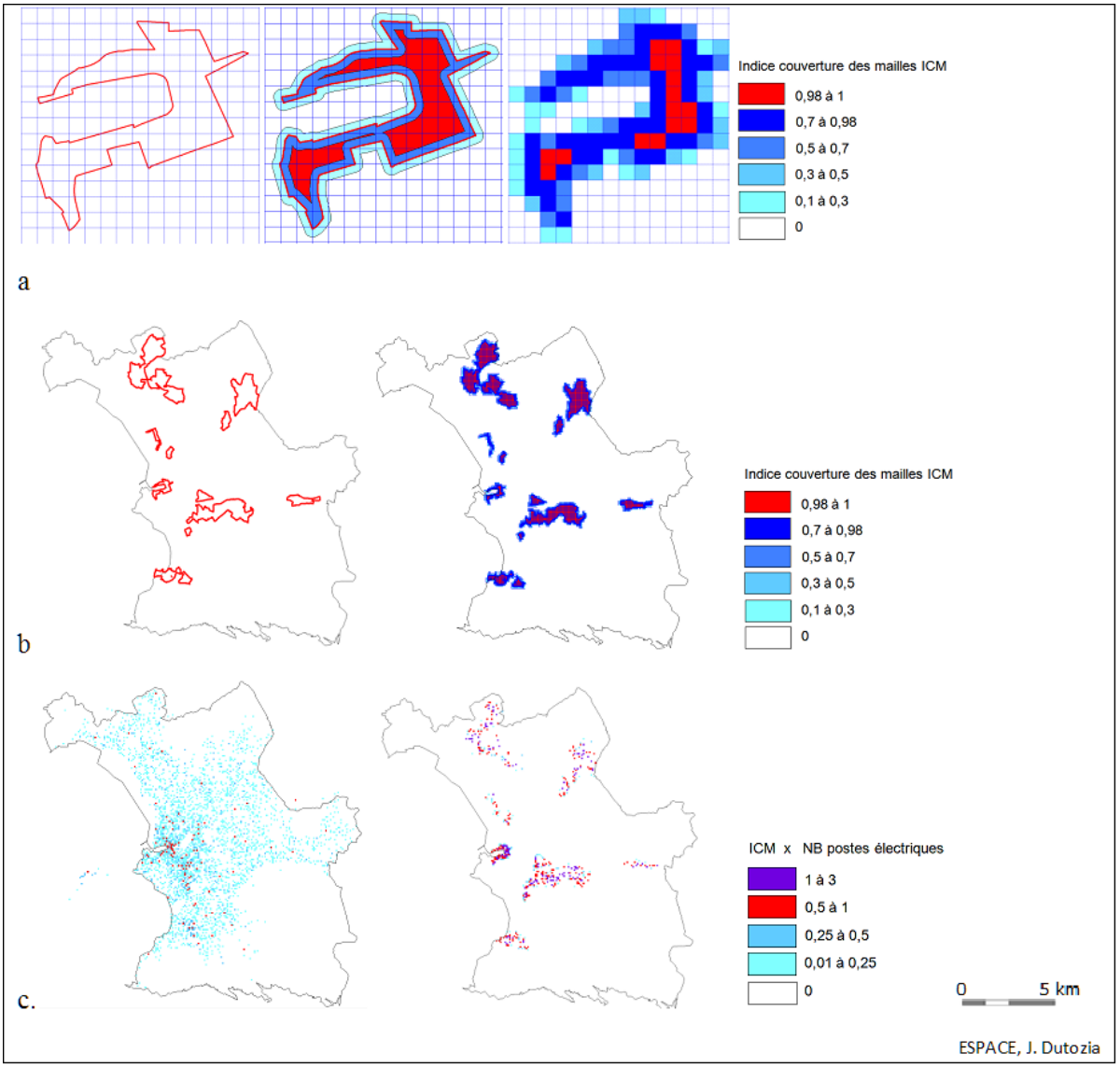


Figure 7 a : Exemple de fuzzyfication d'un périmètre de zone inondable (secteur du vieux port) b : Méthodes appliquées aux zones (Iris) de la commune de Marseille citées au moins une fois dans la presse comme zones inondées entre 1951 et 2003 (pour 5 évènements de référence, 1951, 1978, 1993, 2000 et 2003) c : Estimation de la susceptibilité par croisement avec le nombre de postes électriques.

Cette première phase renseigne sur la possibilité d'un dommage direct, et considère l'espace comme un support du système de risque dont la fonction se limite à subir l'aléa. La susceptibilité s'évalue principalement en fonction de la localisation des enjeux. À l'inverse, la seconde phase attribue à l'espace un rôle d'agent, et se focalise sur l'intensité et l'organisation des rapports d'interdépendances spatiales afin d'estimer la capacité d'un territoire à diffuser et faire émerger de nouveaux impacts en cas de perturbation. Cette propriété renvoie à la notion de criticité dans la démarche SCReD. La méthode proposée se base sur le caractère multi-niveaux du réseau électrique afin d'établir un graphe de relations verticales entre les postes électriques et l'ensemble des bâtiments de la ville (organisation hiérarchisée en trois niveaux : postes sources électriques, qui alimentent des postes de distribution électrique, qui, à leur tour, permettent l'alimentation électrique des bâtiments).

Ce graphe de relations va constituer un ensemble de trajectoires potentielles du système de risques dans le sens où l'endommagement d'un poste électrique par l'aléa inondation est susceptible de provoquer un impact indirect sur les nœuds qui lui sont afférents. Sur la Figure 8, page 31, on comprend l'intérêt de ne pas considérer de manière identique l'ensemble des postes électriques compte tenu du caractère stratégique des postes sources (en noir) auxquelles sont associées plusieurs dizaines de postes de distributions. La Figure 8, page 31 met en lumière la possibilité d'intégrer un degré de dépendance variable des bâtiments, en se focalisant par exemple sur l'alimentation électrique des hôpitaux, et de connaître ainsi, pour chacun des hôpitaux (ou autres bâtiments à enjeux de fragilité), le poste de dépendance à l'échelle des niveaux 1 et 2 de l'organisation du réseau électrique. De même, il est possible à l'échelle de chaque poste électrique, de détecter la présence de composantes territoriales dont on suppose qu'elles possèdent une forme de fragilité particulière et de dépendance électrique accrue. La détection des trajectoires susceptibles d'affecter ces cibles fragiles permet d'envisager leurs risques indirects ; par exemple, une maison de retraite peut se situer nettement en dehors d'un périmètre inondable, tout en étant dépendante d'une ou deux composantes qui sont en revanche comprises dans ce périmètre ; de fait, la maison de retraite ne fait pas partie du périmètre de risque inondation, mais fait pleinement partie du système spatial associé au système de risque inondation (Voiron-Canicio et al., 2005).

Enfin, la fonction de récupération est relative à l'accessibilité routière des composantes du système technique endommagé à partir des centres de secours des exploitants des réseaux techniques. Cette accessibilité influe sur la durée de la coupure en retardant ou en rendant impossible la restauration du service fourni par le réseau. Il ne s'agit pas seulement de représenter le système territoire-réseau, mais bien d'établir un formalisme de ses interdépendances dans un système d'information géographique, qui permet ensuite de tester, à partir de requêtes spatiales, la possible réalisation de certains scénarios dans un territoire - ici, l'inondation qui conduit à l'ennoiement d'un poste source du réseau électrique et l'éventuelle rupture de l'alimentation dans un hôpital par le réseau électrique -, de savoir où cette trajectoire du système de risques pourrait se réaliser, quels types d'équipements techniques et d'établissements humains y sont intégrés.

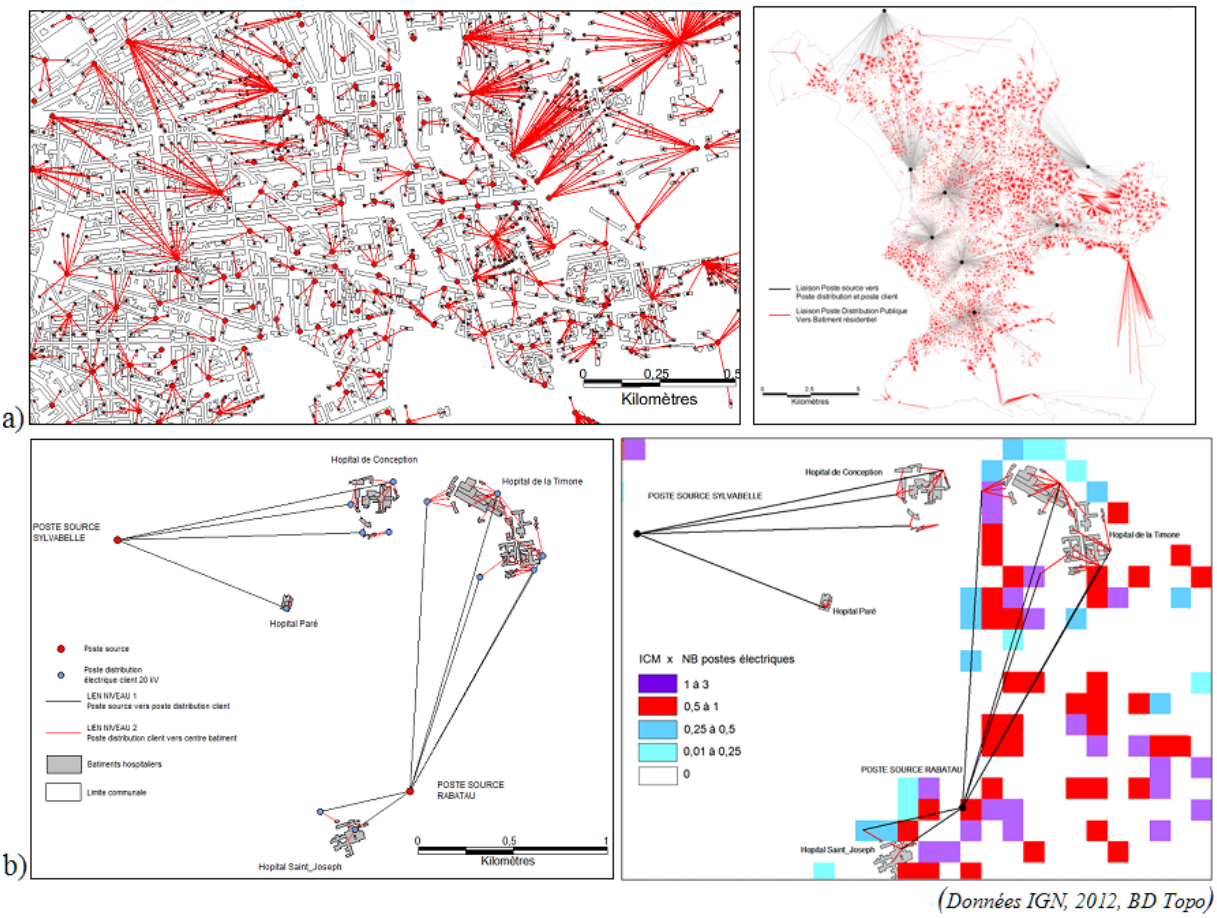


Figure 8 a : Raccordement des nœuds du réseau électrique de distribution publique aux centroïdes des bâtiments résidentiels de la commune de Marseille. b : Croisement susceptibilité (partie 1) avec alimentation électrique des hôpitaux (Données IGN, 2012, BD Topo)

Face à ces situations, une autre difficulté pour la compréhension et l'anticipation des systèmes de risques réside dans l'articulation entre la temporalité de la construction d'une fragilité dans le temps long, induit par le développement des territoires et des réseaux techniques, avec la temporalité plus brève et évènementielle du déclenchement des systèmes de risques induits par cette fragilité. Le système de risque est en ce sens « la combinaison de facteurs structurels hérités (les causes profondes de P. Blaikie et al., 1994) et de pressions et de dynamiques récentes » (Duvat, 2008). Cette combinaison sur le même espace de phénomènes se déroulant sur des temporalités différentes est un des éléments majeurs dans l'anticipation des futurs urbains et de leur résilience.

1.6. La trajectoire de la résilience urbaine : une stratégie d'action en trois temps : avant, pendant et après la crise

La dimension temporelle de la résilience est mise en exergue par différents auteurs parmi lesquels Theys (2009) et Laganier (2013), Stathopoulos (2011), dans une optique à la fois conceptuelle et opérationnelle, systémique et multiscalaire. Face à la complexité des systèmes urbains, la mise en pratique de la résilience urbaine nécessite de décloisonner l'étude des risques naturels, des risques technologiques ou des risques géopolitiques en combinant les approches relevant des sciences du risque et des crises à celles des sciences de la ville.

La démarche adoptée est transversale et transcalaire. D'une part, elle consiste à réintroduire la ville et ses dynamiques spatiales, temporelles et culturelles dans la gestion des risques, en décloisonnant les politiques publiques comme les espaces. Les dimensions culturelle, symbolique et mémorielle de la ville sont introduites afin de mieux prendre en considération les perceptions des populations qui fabriquent la ville (Laganier, 2013). D'autre part, la démarche considère les catastrophes non seulement comme des révélateurs de vulnérabilités urbaines, mais aussi comme un levier de transformation de l'espace urbain pré- ou post-catastrophe : « *Le risque fait partie des fondements de la ville résiliente, tout comme les ressources qui peuvent s'en dégager. La crise n'est plus la conséquence indésirable de l'échec de mesures préventives. Au contraire, elle est révélatrice d'opportunités* » (Stathopoulos, 2011).

Richard Laganier inscrit la stratégie dans une trajectoire temporelle visant à « se donner les moyens de gérer les soubresauts du système urbain soumis à de nombreuses perturbations ou de procéder à des adaptations à la marge (résilience de temps court) mais aussi de maintenir ce système dans la trajectoire idéale de la durabilité conduisant à des transformations des formes et du tissu urbain (résilience de temps long). » (Laganier, 2017, p. 72).

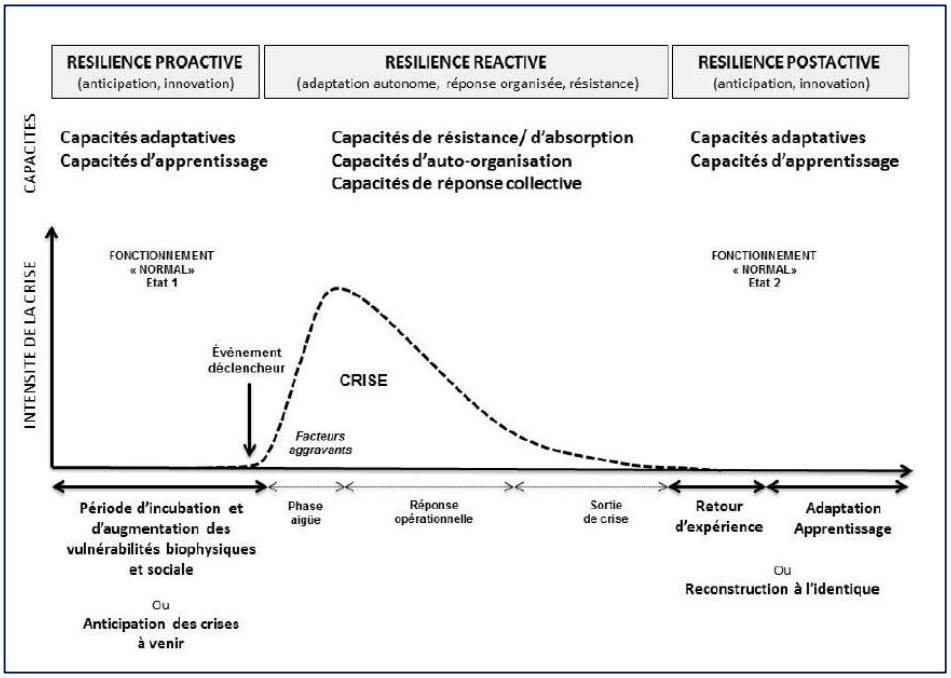


Figure 9 : Les trois volets de la résilience Source : Laganier, 2013

Cette stratégie d'action selon trois horizons temporels, peut être illustrée par l'exemple du changement climatique, proposé par Theys (2009).

« Le premier horizon concerne le temps court, celui de la mise en œuvre des instruments réglementaires ou incitatifs susceptibles d'initier des adaptations progressives de l'habitat et des microprojets urbains, au moindre coût. Cette résilience de temps court correspond aussi à notre capacité de réaction face à une perturbation qui peut survenir sur la durée des mandats politiques nationaux ou locaux. Deux leviers permettent d'améliorer cette résilience urbaine de temps court :
a) une stratégie technique visant à limiter le degré de perturbation du système au moyen d'une meilleure capacité de résistance et d'absorption (Serre et al., 2012),
b) une stratégie plus organisationnelle visant à anticiper les crises à venir et à accélérer le retour à la normale grâce à une gestion optimisée des moyens et des ressources, et au maintien d'une bonne accessibilité, même en cas de perturbation (Toubin et al., 2012).

Le deuxième horizon, pluridécennal, quant à lui, prendrait appui sur de grands projets d'urbanisme et des investissements massifs afin de répondre à des objectifs de grande ampleur concernant la transformation du tissu urbain et des modes de vie nécessaires par l'atteinte d'objectifs en matière de développement durable : réduction d'un facteur trois ou quatre des consommations d'énergie, modification sensible des schémas et des habitudes de transport et réduction sensible des vulnérabilités urbaines face aux risques.

Le dernier horizon, plus lointain, voire même relevant de l'utopie, est celui de la recomposition des formes et des fonctions urbaines en lien avec des ruptures technologiques majeures et une reconfiguration des systèmes politiques, des modes de vie et des relations sociales » (Source : Laganier, 2013, p.67).

L'enjeu majeur est l'articulation entre ces temporalités et spatialités différentes, ainsi que dans les logiques d'acteurs qu'elles sous-tendent. C'est là que réside la consolidation possible des conditions de la résilience urbaine et son opérationnalité.

PARTIE II - RESILIENCE URBAINE ET POLITIQUES PUBLIQUES

1. Les politiques internationales et nationales, cadres d'action pour la résilience des villes

Le changement de paradigme que sous-tend le glissement « de la résistance à la résilience », perceptible dans l'évolution des modes d'action publique et le discours des institutions internationales est clairement affiché par les Nations Unies, en 2005, dans le cadre d'action de Hyogo, puis en 2015, dans le cadre d'action de Sendai 2015-2030, et en 2016, de celui de l'UNDP, Habitat III, lors de la Conférence de Quito. A l'échelle internationale, la résilience territoriale est mobilisée comme un concept essentiel pour accompagner les territoires, et en particulier les systèmes métropolitains, dans l'anticipation des risques et la réduction des catastrophes ainsi que l'adaptation des territoires aux impacts du changement climatique, aux crises économiques ou encore migratoires, et plus largement, les processus de changement et l'élaboration d'une stratégie de développement dans un contexte incertain.

Cette stratégie internationale se veut une réponse universelle visant à bâtir des villes résilientes aux crises multiformes qui les affectent. Le cadre d'action de Hyogo pour 2005-2015 (Figure 10, page 36) repose sur deux principes majeurs l'adaptation et l'apprentissage, mobilisés dans un engagement institutionnel fort, devant s'exprimer par des lois et réglementations aux niveaux national, régional, local, et sur le concept de "culture du risque". Ces principes sont portés et communiqués par des villes-modèles ou « championnes » de la Campagne (Tableau 4, page 35). La résilience promue dans ce cadre renvoie aux capacités développées en amont de la perturbation (résilience proactive), en temps de crise (résilience réactive) et lors du processus de redressement post-crise (résilience post-active).

« La pauvreté et la vulnérabilité ne sont pas une fatalité. Les populations ne sont pas irréversiblement condamnées. Elles doivent juste mobiliser des ressources disponibles internes et externes pour résoudre les problèmes auxquels elles sont confrontées. Nos prédécesseurs se sont battus pour nous laisser un héritage, et c'est de notre responsabilité de le préserver et de le promouvoir pour les générations futures. »

Cheikh Mamadou Abiboulay Dieye, Maire de Saint Louis, Sénégal, « Champion » de la campagne « Pour des villes Résilientes ».

« Nous avons vu ces dernières années, que les pays développés étaient touchés autant que les pays en voie de développement. Rejoindre la campagne « Pour des Villes Résilientes », est bénéfique pour présenter les résultats atteints et partager les expériences avec les autres. »

Jurgen Nimptsch, Maire de Bonn en Allemagne, au lancement officiel de la Campagne "Pour des ville Résiliente" à Bonn, en May 2010.

« Pour atteindre l'objectif de construire une ville résiliente, nous avons besoin d'engager d'importantes ressources au niveau local. Certes, atteindre cet objectif, n'est pas facile, spécialement en période de défis économiques et face à la raréfaction des ressources, mais nous n'avons pas d'autres options, nous devons le faire. »

Keith Hinds, Maire de Portmore, Jamaique. à la Plate-Forme mondiale pour la réduction des risques de catastrophe, à Genève, May 2011.

Tableau 4 : Paroles de maires impliqués dans la Campagne « Pour des villes résilientes ma ville se prépare » (Source : UNISDR, 2012)

Les réglementations et lois ont généralement été prises dans le domaine de la prévention des risques et de la sécurité. En revanche, sur le plan de l'adaptation, subsiste la difficulté de passer de la théorie à la pratique. De nombreux pays, notamment du Sud, soulignent la faiblesse de leurs capacités et de leurs ressources mobilisables - capacités financières et techniques, systèmes de communication et compétence des personnels. Partout, la mise en place de programmes d'enseignement ou de formation dédiés aux concepts et aux pratiques de la réduction des risques de catastrophe et de la reconstruction demeure insuffisante, tout comme les procédures d'évaluation des impacts des projets de développement en termes de risques de catastrophe.



San Francisco, Cebu, Philippines, mettant en application le Cadre d'action de Hyogo au niveau de la planification locale

Pour en savoir plus consulter:
www.unisdr.org/hfa

Une ville résiliente face aux catastrophes se caractérise comme suit :

- Une ville dans laquelle les catastrophes sont minimisées du fait que la population vit dans des habitations et des quartiers où la fourniture de services est assurée et les infrastructures obéissent à des codes de construction appropriés, excluant toute formation d'établissements humains informels sur des plaines inondables ou des pentes abruptes par manque de terrains.
- Une ville dotée d'un gouvernement local inclusif, compétent et responsable, soucieux d'établir une urbanisation durable et engageant les ressources nécessaires au renforcement de ses propres capacités en matière de gestion et d'organisation avant, pendant et après l'avènement d'un aléa naturel.
- Une ville dont les autorités locales et la population comprennent les risques et mettent en place une base d'informations locales partagées sur les pertes, les aléas et les risques liés aux catastrophes, permettant notamment de répertorier les personnes exposées et vulnérables.
- Une ville dont la population est habilitée à prendre part au processus de prise de décision et de planification avec les autorités locales, et qui reconnaît la valeur des connaissances, des capacités et des ressources locales et autochtones.
- Une ville ayant entrepris d'anticiper et d'atténuer l'impact des catastrophes, en intégrant les technologies de surveillance et d'alerte rapide afin de protéger les infrastructures, les biens des communautés et des individus, notamment leurs habitations et possessions, ainsi que de préserver l'héritage culturel, et le capital environnemental et économique. Il s'agit aussi d'une ville ayant pris les dispositions nécessaires lui permettant de minimiser les pertes matérielles et sociales découlant des phénomènes climatiques extrêmes, des tremblements de terre ainsi que d'autres aléas d'origine naturelle ou humaine.
- Une ville capable de réagir, de mettre en œuvre des stratégies immédiate de relèvement, et de rétablir les services de base pour autoriser la reprise des activités sociales, institutionnelles et économiques après la survenue d'une catastrophe.
- Une ville ayant intégré le faite que la plupart des éléments précédemment cités sont également essentiels au renforcement de la résilience face aux effets environnementaux négatifs, notamment au changement climatique, en plus de s'être engagée à réduire ses émissions de gaz à effet de serre.

Figure 10 : « Recommandations aux villes », (Source : UNISDR, 2012)

Nombreuses sont les voix qui s'élèvent contre le dévoiement ou l'instrumentalisation des notions de résilience et de culture du risque. La résilience mobilisée autour du « mythe de la culture du risque » (Calla, 2013) est susceptible de conduire à une stigmatisation de ceux (territoires et populations les plus vulnérables et les plus démunis) qui ne parviendraient pas à se reconstruire ou à s'adapter (Rufat, 2012) et à la mise en accusation de ce qui ne correspond pas aux « bonnes pratiques » érigées comme modèles (Mitchell, 2013 ; Quénault, 2013, 2015).

Toujours dans une lecture critique, l'injonction à la résilience et la pédagogie « du vivre avec le risque » peuvent aussi être perçues comme un alibi commode pour légitimer un désengagement progressif (ou une incapacité) de l'Etat et des institutions internationales à l'égard de certaines missions fondamentales dont la sécurité des territoires et des populations.

Le transfert de responsabilités vers la société civile semble d'ailleurs confirmer ce désengagement, avec l'exemple de la Fondation Rockefeller et du réseau 100RC, qui permet aux grandes villes de financer la création d'un poste de « Haut Responsable de la Résilience », tout en bénéficiant de l'expertise du staff d'encadrement du réseau et du partage d'expérience des différentes villes membres sélectionnées par la Fondation (Figure 11, page 37). On notera d'ailleurs que la stratégie revendiquée par la Fondation Rockefeller pour amorcer cette transformation des territoires, est de s'appuyer sur les grandes aires métropolitaines mondiales plutôt que directement sur les État-Nations, considérant que « le niveau étatique n'est plus le bon niveau d'intervention » et qu'il n'existe « plus beaucoup d'innovation possible » à ce niveau-là (citation orale de Sébastien Maire lors de sa présentation de la stratégie de la résilience de Paris au colloque de Cerisy en septembre 2017).

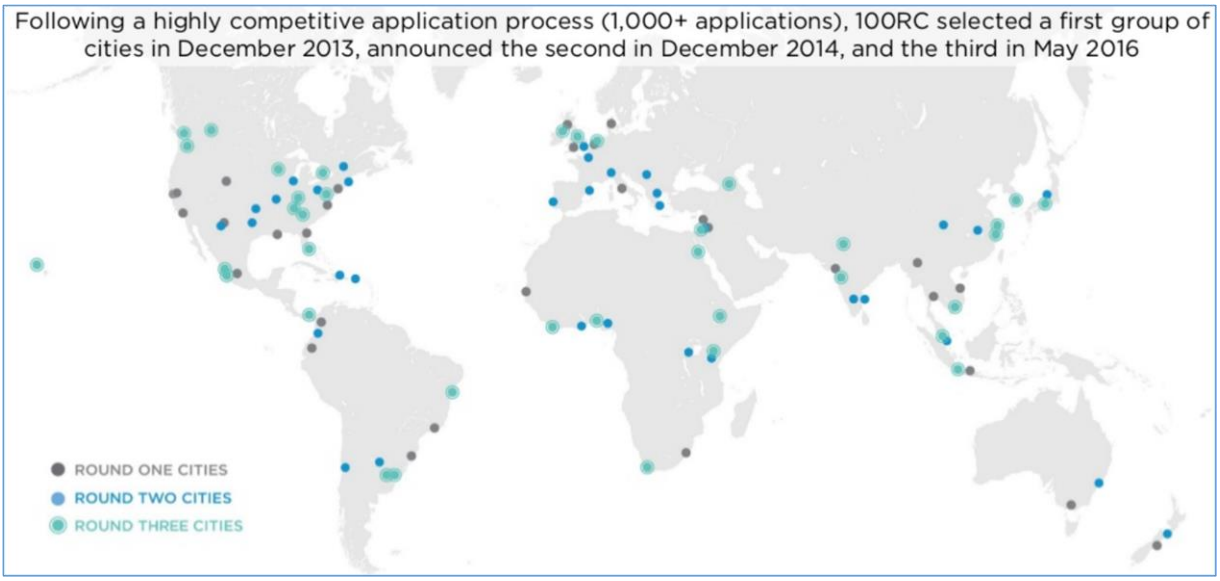


Figure 11 : Membres du réseau 100RC

Incontestablement, le réseau 100RC, créé à la fin de l'année 2013, a contribué à la promotion d'une forme de résilience et au déploiement d'une stratégie de transformation des territoires à l'échelle des grandes métropoles mondiales. En parallèle, il a également conduit à l'élaboration - ou un accaparement selon les points de vue - d'une approche de la conduite du changement et de préparation aux chocs externes et stress chroniques (« Our approach » sur le site de la fondation), qui, en moins de 5 ans d'existence, a développé un vocable, une méthodologie, avec notamment, la promotion du City Resilience Index (ARUP, 2015) et une stratégie de marketing territorial, commune à plus d'une centaine de villes dans le monde.

Ce cadre commun (CRF pour City Resilience Framework), s'appuie sur une sectorisation des enjeux des systèmes urbains selon 4 thématiques : Santé et Bien-être ; Economie et Société ; Infrastructure et environnement ; Leadership et stratégie ; auxquelles sont associées 12 objectifs, eux-mêmes déclinés en 52 indicateurs (Tableau 5, page 39). La ville doit, selon cette approche, répondre aux 7 qualités d'un système résilient, à savoir être à la fois réflectif, ingénieux, robuste, flexible, redondant, inclusif et intégré.

Les logiques de modèles, de guides ou encore de démarches en faveur de la résilience qui pourraient s'appliquer de manière universelle à l'ensemble des territoires font également l'objet de critiques. Ces dernières soulignent le fait que ces protocoles peuvent constituer des carcans et des limites à la créativité et l'émergence d'une intelligence collective, pourtant indispensable dans l'implication et l'appropriation de la stratégie de résilience par les habitants. De plus, le recours à un protocole unique pourrait conduire à une stratégie de résilience, et donc à des villes, à la fois standardisé et déterritorialisé (avec dans la littérature sur le sujet, des métaphores sur l'opposition entre le prêt à porter et le sur mesure ou sur l'intérêt des recettes locales pour la mise en œuvre de principes généraux).

A resilient city is a city where there is or are…

1. Minimal human vulnerability
Indicated by the extent to which everyone's basic needs are met.

2. Diverse livelihoods and employment
Facilitated by access to finance, ability to accrue savings, skills training, business support and social welfare.

3. Effective safeguards to human health and life
Relying on integrated health facilities and services, and responsive emergency services.

4. Collective identity and community support
Observed as active community engagement, strong social networks and social integration.

5. Comprehensive security and rule of law
Including law enforcement, crime prevention, justice, and emergency management.

6. Sustainable economy
Observed as sound financial management, diverse revenue streams, the ability to attract business investment, adequate investment, and emergency funds.

7. Reduced exposure and fragility
Indicated by environmental stewardship; appropriate infrastructure; effective land use planning; and enforcement of planning regulations.

8. Effective provision of critical services
Indicated by diverse provision and active management; maintenance of ecosystems and infrastructure; and contingency planning

9. Reliable communications and mobility
Indicated by diverse and affordable multi-modal transport systems and information and communication technology (ICT) networks; and contingency planning.

10. Effective leadership and management
Involving government, business and civil society, and indicated by trusted individuals; multi-stakeholder consultation; and evidence-based decision-making.

11. Empowered stakeholders
Indicated by education for all, and access to up-to-date information and knowledge to enable people and organisations to take appropriate action.

12. Integrated development planning
Indicated by the presence of a city vision; an integrated development strategy; and plans that are regularly reviewed and updated by cross-departmental working groups.

Tableau 5 : Objectifs de la ville résiliente (ARUP, 2015)



Tableau 6 : Les qualités que doit détenir une ville résiliente (ARUP, 2015)

Il semble que, comparativement aux programmes de résilience soutenus par l'UNDP, qui sont plutôt orientés vers la préparation, l'adaptation et le relèvement des villes et des pays à la suite de catastrophes naturelles, de conflits armés ou d'urgences humanitaires (voir par exemple le « Programme de résilience pour la mer Morte » ou encore « 365 jours de résilience pour la Syrie » mené en 2014), les stratégies de résilience mises en œuvre dans les métropoles du réseau 100RC sont d'avantage inspirées de la logique et des fondamentaux du développement urbain durable, en revendiquant notamment une approche holistique et transversale de la ville «Building urban resilience requires looking at a city holistically » (définition de la résilience urbaine sur le site 100RC : http://www.100resilientcities.org/).

Un peu paradoxalement, la démarche consiste, pourtant, à hiérarchiser des enjeux établis comme prioritaires, et le plus souvent centrés sur une seule dimension du développement durable :

- la ville de Paris a choisi, par exemple, le problème des inégalités sociales, économiques et territoriales comme premier enjeu de sa stratégie de résilience, privilégiant ainsi une résilience de type sociétal à une résilience infrastructurelle.
- la ville de New York priorise l'enjeu de croissance économique : « 1. New York City will continue to be the world's most dynamic urban economy, where families, businesses, and neighborhoods thrive »,
- alors que le premier objectif de la stratégie de résilience de Rio de Janeiro consiste en une meilleure compréhension et mitigation des impacts des évènements climatiques extrêmes et du changement climatique.

Social pour Paris, Economique pour NYC et environnemental pour Rio de Janeiro, les trois volets du développement durable sont donc susceptibles de constituer la priorité d'une stratégie de résilience telle qu'entendue par le réseau 100RC. On notera, par ailleurs, que les objectifs et les enjeux prioritaires des stratégies de résilience des différentes villes du Monde, ne paraissent pas sans lien avec les cultures nationales et les orientations politiques des collectivités qui portent ses projets. Ceci nous rappelle, d'une part que la définition d'une stratégie de résilience comporte, comme tout projet d'aménagement du territoire, une dimension politique plus ou moins prégnante, porteuse de possibilités mais également de contraintes ; d'autre part, cela peut interroger sur le mode gouvernance de ces stratégies et sur la place effective des habitants-citoyens dans leur élaboration (au-delà de la participation des associations et des conseils de quartier aux Ateliers de la Résilience, pour le cas de la ville de Paris, par exemple).

De la même manière que pour le développement urbain durable, on peut alors considérer que pour la résilience, « d'une certaine manière, l'absence de norme scientifique "objective" est un grand avantage. Elle limite le risque d'une récupération autoritaire par un Etat jacobin. Elle ouvre, au contraire, la possibilité pour chaque territoire de définir démocratiquement ses propres objectifs – puis de choisir de manière décentralisée les moyens les mieux appropriés pour y parvenir. » (Theys, 2000). Ainsi, tant sur le plan de la résilience que de la durabilité urbaine, l'impulsion est certes donnée par les instances internationales et nationales mais la mise en œuvre des mesures d'adaptation dépend des systèmes d'action locaux, et de leurs jeux d'acteurs.

2. Les pratiques conventionnelles de l'aménagement répondent-elles aux enjeux de la ville résiliente ?

2.1. Solutions « vertes » contre solutions « grises »

Deux stratégies s'opposent, lutter contre le risque – solution « grise » - ou l'accepter en s'efforçant de mieux vivre avec lui – solution « verte ». Ces deux stratégies coexistent tout particulièrement dans le cas du risque inondation.

La stratégie aménagiste des ingénieurs à la tête des services techniques des villes et des institutions chargées de l'aménagement des eaux a jusqu'à présent été focalisée sur la maîtrise de l'aléa. Le Plan de Prévention du Risque Inondation comprend des prescriptions techniques afin que le remblaiement des zones à construire soit réalisé au-dessus des Plus Hautes Eaux Connues. Digues, bassins artificiels de rétention, berges bétonnées – dîtes solutions « grises » - prévalent chez les aménageurs et rassurent les populations.

Plus rares sont les solutions « vertes » qui, à la différence des premières, composent avec le risque et coopèrent avec la nature. Elles substituent, par exemple, aux bassins artificiels de rétention, des bassins naturels d'infiltration et de stockage de l'eau. En zone habitée, cela suppose de revenir sur des aménagements de protection réalisés, et d'accepter de détruire des murets ou des digues de protection afin de laisser les rivières divaguer dans leur lit majeur – zone d'expansion de crue et « re-méandriser » les cours d'eau pour favoriser l'infiltration sur une plus vaste surface. « Renaturer » des espaces inondables nécessite non seulement de rendre inconstructibles des zones habitables mais encore de détruire des maisons – rachat de 100 maisons à Villeneuve-Saint-Georges, par exemple, pour recréer des zones humides. Cette renaturation qui a été réalisée, en région parisienne, pour la rivière la Bièvre, affluent de la Seine, a montré son efficacité lors des inondations de 2016 et de 2018.

Solutions « grises » et « vertes » peuvent être combinées, comme dans l'exemple de Nijmegen aux Pays Bas, où les relations terre/eau ont été complétement redéfinies (Figure 12, page 43) En France, il n'existe pas, à ce jour, d'aménagements de zones inondables aussi conséquents que ceux déployés aux Pays Bas.



Nijmegen « avant » le projet Ruimte voor de rivier (RVR) : située en bordure de la rivière Waal (Rhin), la ville est l'une des plus anciennes des Pays-Bas, et familière des inondations, notamment celles qui ont eu lieu au XIXe siècle. La crue de 1995 a nécessité l'évacuation de toute la ville basse.
© Thea van den Heuvel - DahP



Nijmegen « après » : le projet RVR « de l'espace pour la rivière » a intégré la démolition, le recul et la reconstruction de la digue, le creusement du nouveau bras de rivière et sa presqu'île, la construction de ponts, de passerelles et d'un barrage. L'ensemble compose un nouveau paysage fluvial.
© Aeropicture Johan Roerdink

Figure 12 : Nijmegen : composer avec le risque d'inondation et recomposer l'espace inondable

Les solutions « vertes » se déclinent à différentes échelles, en milieu rural comme en milieu urbain. Ainsi, des solutions « vertes » sont proposées pour l'aménagement ou le réaménagement de zones de bâti dense. Marc Barra, écologue à Natureparif, l'Agence régionale pour la nature et la biodiversité en Île-de-France, milite pour le concept de « villes-éponges ». Intercaler au maximum des espaces végétalisées entre des surfaces bétonnées apparaît comme un remède à l'imperméabilisation des sols, et au ruissellement qui en découle : «*Il faut démultiplier les petits gestes de reconquête du sol : rouvrir un pied d'arbre, creuser une mare, végétaliser une toiture… Pris individuellement, ils ont peu de valeur, mais mis bout à bout, ils permettent d'atteindre une masse critique en ce qui concerne l'absorption et le ralentissement des eaux* ».



Figure 13 : Un jardin-éponge à Nanterre. (Source : Reporterre, https://reporterre.net/Pour-se-proteger-des-crues-une-solution-cooperer-avec-la-nature)



Figure 14 : Exemples de pratiques de gestion optimales à la source végétalisées, proposées par Danièle Dagenais, Chaire en paysage et environnement, Université de Montréal

Sur le plan des constructions proprement dites, depuis le Grenelle de l'Environnement, les réglementations ont surtout mis l'accent sur les économies d'eau – gestion optimisée des eaux pluviales dans le bâtiment, eau chaude solaire, économie d'eau potable – et sur les économies d'énergie – toiture et façade végétalisée, bâtiment à énergie positive. Les architectes qui doivent réaliser un projet en zone inondable ont une palette d'options possibles en fonction du site :

- Une construction avec un double niveau : un rez-de-chaussée bas inondable et un rez-de-chaussée surélevé, non inondable, où se tiennent les commerces.
- La construction d'îlot conçu pour résister à la crue et ne pas gêner l'écoulement de l'eau.
- Des bâtiments sur pilotis, au-dessus des Plus Hautes Eaux Connues, avec des parkings entièrement inondables. Ces bâtiments peuvent être reliés entre eux par des passerelles et des coursives.

Il convient toutefois de souligner les limites d'un certain nombre de programmes d'aménagement dans les territoires soumis au risque d'inondation :

- Le risque d'inondation par remontée de la nappe ainsi que le risque lié au ruissellement pluvial sont sous-estimés.
- Les nouveaux quartiers fluviaux ne remettent pas en cause les aménagements réalisés au XIXème siècle – enfouissement des petites rivières urbaines, remblaiements, digues, murets.
- Trop de projets d'architectes méconnaissent les contraintes locales des sites. Notamment, en zone méditerranéenne, des programmes de lotissements sont construits en bordure de cours d'eau méditerranéens en totale méconnaissance de leur régime hydrologique, et de la dangerosité qui en résulte. Les bassins de rétention créés sont pour la même raison sous-calibrés.
- Les mares et zones humides sont des lieux d'éclosion de moustiques et de parasites, à certaines périodes de l'année, faisant courir un risque sanitaire aux populations localisées à proximité.
- Rarissimes sont les exemples de projets qui possèdent un volet de sensibilisation des habitants au risque encouru.
- L'acceptabilité sociale de certaines solutions systématiquement proposées, telles que les parkings inondables, n'a jamais fait l'objet d'étude.
- La multiscalarité nécessaire à la résilience territoriale n'est pratiquement jamais prise en compte. L'échelle des programmes, qui est celle de l'ilot ou de la parcelle, est trop fine pour permettre de réaliser un projet urbain résilient.

2.2. Le concept de résilience, développé en géographie des risques, est encore méconnu des praticiens

Une enquête menée en 2009 et en 2010 pour l'Établissement Public Territorial de Bassin (EPTB) Seine Grands Lacs auprès d'une quinzaine de praticiens en aménagement, associée à l'analyse des propositions des architectes, révèle que la résilience est encore étrangère aux praticiens. Les maîtres d'œuvre sont plus sensibles au risque inondation que par le passé, mais disent ne pas être en capacité d'internaliser les coûts d'une réflexion innovante que le renouvellement urbain en zone inondable exige nécessairement (Brun et Gache, 2013). Alexandre Brun et Frédéric Gache remarquent que les enseignements dispensés dans les écoles d'architecture sont plus ouverts sur les questions environnementales qu'autrefois ; en revanche, les risques, naturels ou technologiques sont moins traités que les mobilités douces, les procédures en matière d'économie d'énergie impulsées par l'ADEME ou la haute qualité environnementale des bâtiments. Un enseignant à l'École nationale supérieure d'architecture de Lyon, confirme l'intérêt porté au couple ville-eau tout en insistant sur l'absence de recul sur la résilience au risque inondation du côté des architectes : « nous ne sommes ni hydrologues ni universitaires » résume-t-il (Brun et Gache, 2010).

2.3. Les contradictions des politiques publiques sectorielles

En France, la politique de l'État est très centrée sur la protection hydraulique et la sécurité civile. Elle entre souvent en contradiction avec la politique de densification des zones urbaines. Les enjeux de développement économique passent souvent outre les paramètres de sûreté et de sécurité, en dépit des discours sur la résilience (Figure 15, page 46).



Figure 15 : Des réglementations et des pratiques ignorant la résilience

Ainsi, les besoins de logements et de bureaux sont tels que le risque inondation est relégué au rang des « priorités secondaires ». C'est ce qui ressort des entretiens réalisés par Alexandre Brun et Frédéric Gache auprès de praticiens qui officient en région parisienne. Les maîtres d'ouvrage publics et privés se détournent encore de la question, et en minimisent l'importance dans leurs cahiers des charges, la cantonnant uniquement aux aspects techniques, voire réglementaires (Brun et Gache, 2010).

Ce constat n'est pas propre à la métropole parisienne. Il est valable pour la plupart des agglomérations urbaines détenant des zones inondables perçues comme des réserves foncières pour leur extension. Toujours en quête de nouveaux espaces pour l'expansion du bâti, les villes investissent dans le renforcement des digues et recalibrage des cours d'eau afin d'obtenir les modifications de leur PPR inondation. La modification du zonage réglementaire obtenue par la ville de Cannes en 2008, dans le quartier de Ranguin, en est une illustration (Figure 16, page 47).

Il n'est pas rare non plus de voir certains décideurs s'appuyer sur la notion de quartier durable pour légitimer des projets de développement en contradiction avec la prévention des catastrophes et l'adaptation face aux impacts du changement climatique. Ainsi, des éco-quartiers sont encore construits en zones inondables sans toutes les mesures techniques nécessaires - maîtrise des remontées d'eau dans les réseaux, surélévation des postes électriques - et sociales -sensibilisation, formation et préparation des habitants au risque.

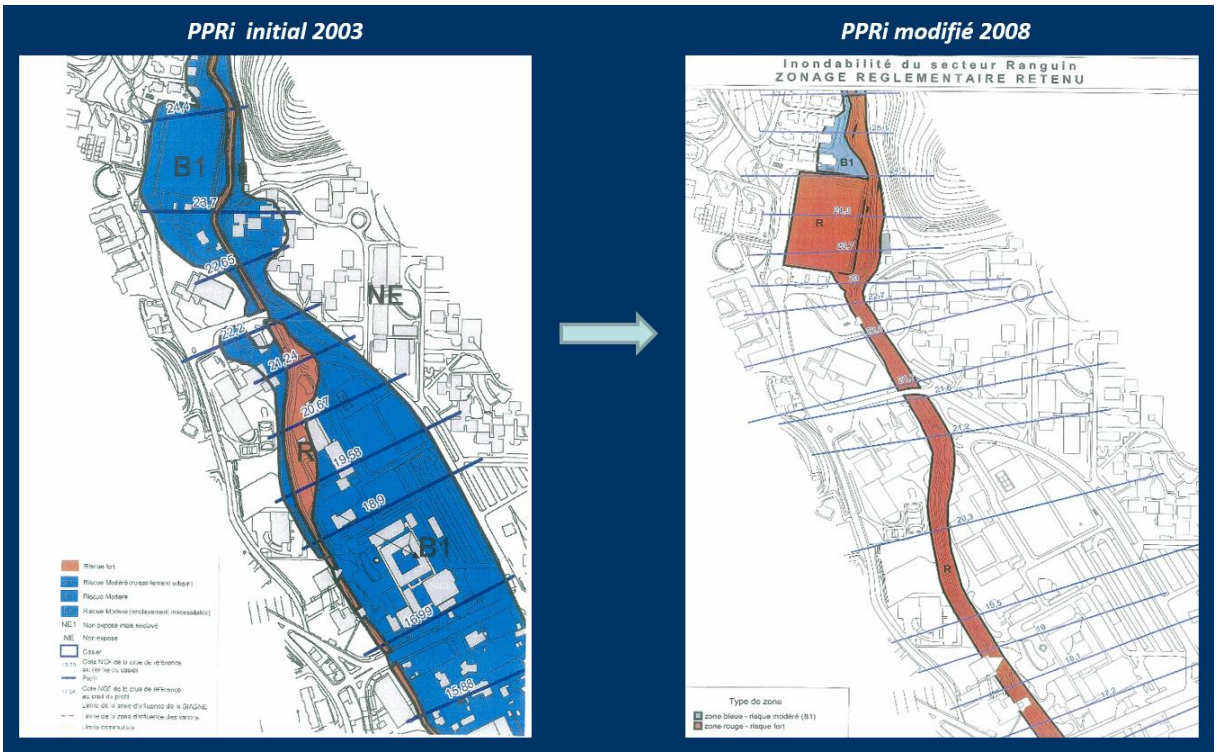


Figure 16 : Modification du PPR inondation de Cannes après travaux de recalibrage des cours d'eau

2.4. Le volet « Mieux vivre en zone inondable » de la Stratégie nationale de gestion du risque d'inondation (2014)

L'un des enjeux majeurs est de parvenir à concilier les politiques sectorielles et de créer de la transversalité entre les politiques de gestion du risque et du développement urbain. Frédéric Bonnet, président du jury du Grand prix d'Aménagement / Projets 2015 – Comment mieux bâtir en terrains inondables constructibles, résume le dilemme face auquel se trouvent les villes : « *elles sont souvent fondées dans des vallées, au bord des fleuves ou des rivières, et ne peuvent se renouveler de manière durable sans devenir plus résilientes en adaptant les formes*

de l'urbanisation à l'aléa inondation. Faute de cette attention, elles s'exposent à des catastrophes, faute de cette stratégie de redensification, elles devront alors se développer sur les plateaux, souvent agricoles ou boisés, ce qui, on s'en doute, n'est pas une alternative ».

En 2014, le Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer, a lancé une série de réflexions et d'actions destinées à mettre plus de cohérence dans les politiques urbaines afin de « mieux vivre en zone inondable ». Plusieurs concours ont été organisés avec pour objectif de faire connaître des projets d'urbanisme, d'infrastructure et d'espaces publics, menés à différentes échelles, de l'îlot ou de l'édifice, et conçus dans une optique de reproductibilité.

Quelques illustrations de projets récompensés lors du concours 2015 sont présentées sur la Figure 17, jusqu'à la page 49.



Saint Ouen – l'Aumône

Seine Gare - Vitry sur Seine



LITTORAL + 2°C

LA ROCHELLE

Le projet « Littoral +2°C » propose de repenser l'espace public pour l'adapter au changement climatique. Une des spécificités de ce programme est la participation du public dans un territoire marqué par la tempête Xynthia. L'enjeu est d'aménager la ville sans compromettre le patrimoine historique.

Le parti pris du projet se fonde sur un traitement exclusivement hydraulique du risque : « faire de l'espace » à l'eau sur les espaces publics les moins vulnérables et protéger à hauteur de Xynthia + 20 cm les espaces les plus vulnérables.

Des créations artistiques ont permis d'impliquer les citoyens et de diffuser une culture du risque. Les rochelais ont été invités à peindre le tronc des arbres en bleu pour visualiser l'impact d'une hausse du niveau des eaux.

En front de mer, un vaste dispositif va être installé pour protéger la ville des inondations.



Installation Land art - Les arbres bleus -La Rochelle 2014



Aménagement du quartier des rives du Bohrie – Eurométropole de Strasbourg

Figure 17 : Exemples de projets lauréats du Grand prix d'Aménagement / Projets 2015 – Comment mieux bâtir en terrains inondables constructibles ?

L'examen des 20 projets récompensés en 2015 révèle une prise en compte du risque inondation, couplant solutions « vertes » et solutions « grises ». Cependant, l'accent est mis sur la relation entre le bâti et les Plus Hautes Eaux Connues, dans une vision statique et non dynamique. Si la mention du terme résilient est très présente, l'aspect opérationnel de la résilience est éludé. Sauf de très rares exceptions, les dimensions spatio-temporelles multi-échelles, et sociales ne sont pas réellement intégrées.

A ce jour, le constat est sévère, la résilience globale tarde à émerger dans l'aménagement urbain. Le modèle dominant reste celui d'une urbanisation classique, « à l'abri » d'ouvrages, tels que les digues et les bassins de rétention, plus facile à réaliser qu'un changement des pratiques et des usages, longs et parfois délicats à faire admettre à la population.

La résilience urbaine tend à être limitée à la résilience spécifique à l'inondation. La stratégie de résilience globale déclinée en trois horizons temporels est absente des projets car les constructions envisagées ne sont pas situées dans un projet de résilience territorial où les notions d'adaptation, d'apprentissage, et de changement des pratiques ont une place centrale.

La pénurie de terrains, le coût de l'expertise, et le déficit de sensibilisation au risque dans les formations en urbanisme et architecture expliquent également cette inertie.

A Paris, comme dans bien d'autres métropoles où l'espace disponible est rare et le prix du m^2 très élevé, les investissements sont conséquents pour l'acquisition et la viabilisation des terrains. Les commanditaires - filiales de banques, d'assurances, de grandes entreprises du bâtiment et des travaux publics, de la Caisse des Dépôts et consignations… - demandent un retour rapide sur investissement. Il en découle des décisions qui font fi de la résilience urbaine.

Dans le cas des Opérations d'Intérêt National – OIN Plaine du Var et OIN Orly Rungis Seine Amont - portant sur des secteurs jugés prioritaires, l'Etat et tous les acteurs de l'aménagement confondus, ont tendance à minimiser le risque inondation et à ignorer les principes de résilience urbaine pour réaliser le plus vite et à moindre coût, de grands projets d'aménagement : Eco-Vallée dans la basse vallée du Var, Grand Paris. Ainsi, dans le cas de l'opération d'intérêt national ORSA, l'État exige une très forte densification des bords de Seine pour rééquilibrer économiquement l'Est et l'Ouest du Grand Paris. Les pouvoirs publics poussent les maîtres d'ouvrages publics et privés à développer l'habitat et à « tertiariser » des quartiers inondables jusqu'ici peu denses Les architectes urbanistes, mandataires des équipes de maîtrise d'œuvre sont appelés à construire une ville « capable de s'adapter à un environnement parfois difficile » (EPA ORSA, 2009, p. 20). Cependant, la tendance qui prévaut dans les deux opérations fait la part belle à l'éco-construction et au court terme. Les démarches initialement lancées pour introduire une vision résiliente dans l'aménagement de ces zones ont été remaniées voire abandonnées, sous prétexte que ces actions nécessitaient des phasages longs, compliqués, des échelles d'intervention variées ou encore des modalités de gouvernance inédite (Brun, 2011, 2017).

3. De l'analyse intégrée de résilience territoriale au projet de territoire

Conduits entre 2012 et 2017 par le Commissariat Général au Développement Durable (CGDD) avec l'appui du CEREMA et de l'AFPCN, le projet « Villes résilientes », rebaptisé « Villes et territoires résilients » et le projet « Analyse intégrée de la résilience territoriale » ont contribué à alimenter la Stratégie Nationale de Transition Ecologique vers un Développement Durable. Ils témoignent de la portée générale du concept de résilience et de la diversité des cas où ce concept est susceptible d'être mobilisé comme prisme d'actions et/ou d'analyse de l'évolution d'un système territorial (Figure 18, page 51).

Ainsi, ces travaux s'appuient sur différentes analyses de cas et une variété importante de perturbations, parmi lesquelles :

- Des territoires ayant déjà subi une catastrophe naturelle, avec par exemple l'atelier post-Xynthia.
- Des lieux en situation de risques avérés, avec l'exemple des Ruines de Séchilienne au sud de Grenoble où le risque de glissement de terrain a conduit à l'expropriation de 94 ménages.
- Mais également des territoires qui, du fait de leur économie spécialisée, ont été particulièrement affectés par des chocs plus globaux, avec l'exemple du pays roannais dans la Loire, dont l'économie industrielle (bonneterie et armement en particulier) a été successivement impacté par la crise du textile dans les années 1970, puis par la crise mécanique dans les années 1990, ce qui s'est traduit par une forte paupérisation des populations locales, une hausse importante du taux de chômage, de nombreux départs et la multiplication des friches industrielles au cœur de ville.

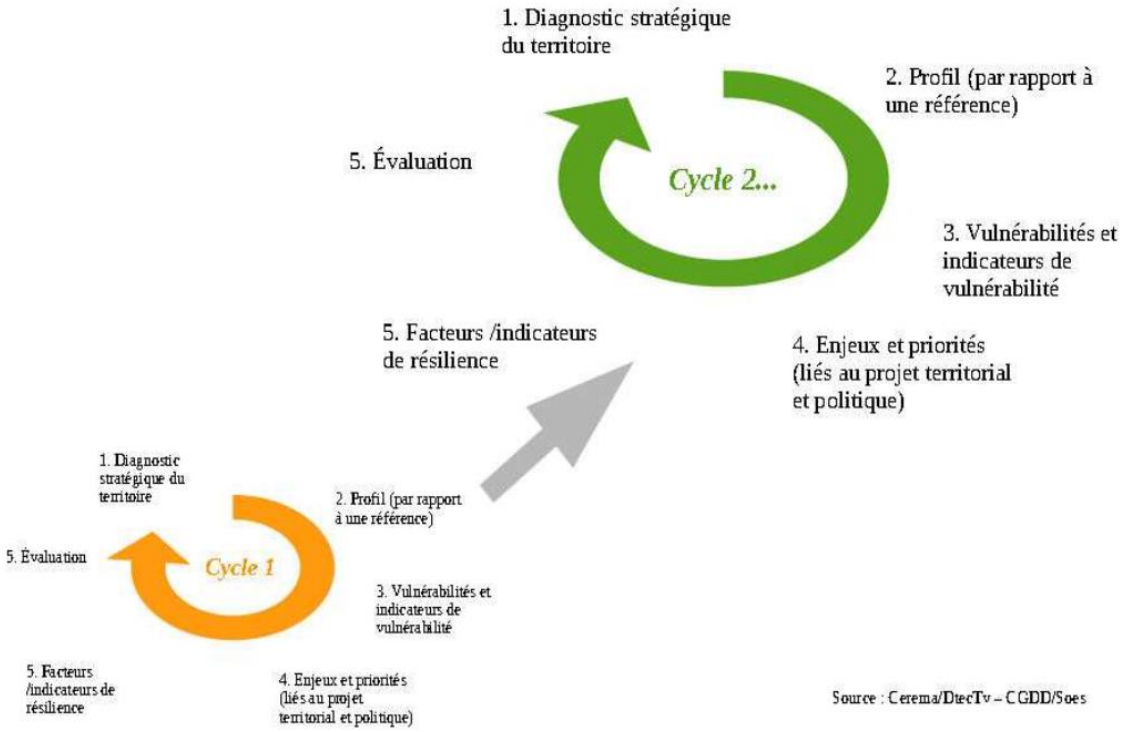


Figure 18 : L'analyse de la résilience comme processus dynamique

Au cœur de ce dispositif de résilience urbaine, la notion de projet de territoire s'appuie sur des ateliers transversaux et pluri-partenariaux, qui doivent permettre de faire émerger « une vision d'un futur s'appuyant sur un diagnostic partagé, une volonté collective d'aboutir et la définition d'une stratégie et des actions à mettre en œuvre pour attendre l'état futur ».

Cette co-construction d'une trajectoire résiliente d'un système peut s'appuyer sur 4 leviers de résilience identifiés à partir des études de cas :

- Situer le territoire dans son cadre spatio-temporel
- Activer une veille anticipative de nature stratégique
- Développer des liens nouveaux entre acteurs et les fédérer autour d'une identité territoriale
- Développer les capacités d'agir.

Partie III - PERSPECTIVES

Les parties précédentes ont montré que la résilience urbaine reste encore appréhendée dans sa première acception – la persistance de structures face à une perturbation. C'est la résilience spécifique, techno-centrée, qui est privilégiée et non la résilience générale, le court terme plutôt que le long terme. L'incertitude et l'imprévisibilité désarçonnent les aménageurs et les urbanistes qui ne savent pas comment prendre en compte la complexité territoriale, notamment dans ses dimensions spatiales et temporelles.

1. Principes généraux

1.1. De nouveaux questionnements

La question majeure qui se pose aux villes n'est pas quelle est la solution technologique qui rendra la ville plus résiliente – mesures techno-centrées - mais quelles décisions prises aujourd'hui, sont susceptibles de parvenir à une organisation urbaine plus résiliente face aux inconnues du futur. Comment agir pour permettre à la ville de se transformer et de s'adapter aux changements multiples, de persister tout en absorbant le changement ? Celui-ci peut être connu – le vieillissement des populations qui agit sur le temps long – ou prévisible et brutal, dans le cas d'un aléa naturel. Il peut également correspondre à des perturbations aléatoires méconnues à ce jour.

Ces dernières années, le concept d'antifragilité développé par Taleb (2013) est venu renouveler le concept de résilience générale. Pour Taleb, l'antifragilité dépasse la solidité. Ce qui est résistant supporte les chocs et reste pareil alors que ce qui est antifragile s'améliore. Cette qualité est propre à tout ce qui est modifié avec le temps. Elle caractérise un système à fort degré de transformabilité, propriété qui lui permet d'acquérir une auto-organisation toujours plus complexe. C'est cette complexité qui permet d'affronter l'inconnu, « en faisant les choses sans les comprendre ». Ainsi, les villes résilientes évoluent en conservant l'essentiel du contenu structurel et informationnel précédant, tout en étant capables de répondre au changement en introduisant de la nouveauté (Mehafy et Salingaros, 2013).

Dans cette quête de la résilience urbaine, générale, adaptative et transformative face aux changements multiples et divers, cinq caractéristiques des systèmes biologiques résilients sont pris comme modèles (Ahern 2011 ; Mehafy et Salingaros, 2013) :

- Leur structure réticulaire fortement interconnectée.
- Leur diversité et redondance.
- Leurs structures, quelles que soient les échelles, grandement articulées.
- Leur capacité à s'auto-organiser et à s'adapter.
- L'absence d'objectif particulier, et notamment celui d'efficacité.
- Le potentiel de réadaptation et de réversibilité.

Cependant, les villes se différencient des écosystèmes par leur capacité à créer et à diffuser le changement ainsi qu'à tirer profit de l'innovation socio-technique constamment produite par la ville.

1.2. La résilience comme moyen de réaliser la durabilité urbaine

Par ailleurs, la résilience apparaît comme un moyen de réaliser la durabilité urbaine. Cette dernière a été mise à mal au cours de la décennie 2000-2010. Le sommet mondial sur le développement durable de Johannesburg, relayé par les Actions 21, avait mis en évidence la nécessité d'appréhender le développement durable comme un processus de gestion adaptative et de pensée systémique, nécessitant flexibilité et réflexion critique, et donc de recourir à une démarche intégrée, participative et adaptative (Voiron-Canicio, 2009). Or, force est de constater que la transversalité et la flexibilité sont des dimensions qui font aujourd'hui défaut aux politiques mises en place. Plus ou moins tôt et à des degrés divers selon les États, le soutien aux expérimentations novatrices a été abandonné, en invoquant comme raisons les échecs, la lenteur des résultats, « la crise », le changement climatique. Des trois volets du développement durable, c'est l'environnement qui retient désormais l'attention des politiques publiques ; toutefois, les préconisations se limitent à l'intégration de l'environnement dans les politiques sectorielles. En outre, l'environnement est confondu avec le développement durable. Cet amalgame se double d'une autre confusion, cette fois avec l'économie des ressources. L'environnement est « économisé » (Rumpala, 2003), réduit à la vision minimaliste de la performance environnementale d'une municipalité. Les politiques publiques s'emploient depuis vingt ans à instaurer leur conception du développement durable sur le territoire plutôt qu'à impulser le développement durable territorial. L'orientation dominante de l'action publique est axée sur le « comment survivre ensemble », pour reprendre les termes de J. Theys (2010, p. 56), c'est-à-dire l'instauration, par les instances internationales et les États, de mesures pour prévenir et atténuer les risques écologiquement et socialement intolérables. Le « comment vivre ensemble » relève de l'action des collectivités locales et de la société civile et se construit au niveau du territoire.

Les nouveaux questionnements portés sur la réponse des villes aux changements futurs, projetés ou préconisés, conduisent à focaliser l'attention sur le couple territoire-changements. Quelle est la capacité des territoires urbains à produire, vivre, traverser, digérer des changements ? Qu'est ce qui peut se passer en pro-action dans les espaces avec les acteurs ? On le voit, l'enjeu n'est plus seulement d'intégrer la question des ressources et du changement climatique dans les pratiques mais d'impulser les mutations structurelles concernant aussi bien l'économie que les modes de vie et les systèmes de valeurs (Theys, 2010). Cette nouvelle vision de la ville, qui prend en compte l'incertitude, la complexité et l'instabilité, et est en totale contradiction avec la simplicité rassurante des politiques normatives habituelles (Voiron-Canicio, 2014).

1.3. Nécessité d'une complète refonte du modèle de résilience urbaine

L'architecte Ahern propose cinq objectifs de planification urbaine pour augmenter la résilience des villes : la multifonctionnalité, la redondance et la modularisation, la biodiversité sociale et biologique, les réseaux multi-échelles et la connectivité, la planification et le design adaptatifs.

Dans la même optique, Fusco (2017) adapte ces principes à la morphologie urbaine des villes résilientes. Celles-ci devraient alors posséder :

- Des réseaux interconnectés de parcours et de relations, non spécialisés dans des usages particuliers qui les rendraient vulnérables à la défaillance.
- Une diversité d'activités, de types architecturaux, d'objectifs, de fonctionnements et de populations, dans laquelle réside le potentiel de résilience au changement.
- Des composantes réticulaires, parcellaires, bâties et tissulaires qui peuvent s'auto-organiser, ce qui permet, face à un dysfonctionnement, de ne pas devoir réinitialiser tout le système fonctionnel sur une vaste échelle.
- Des relations inter-scalaires permettant aux réponses de s'effectuer à plusieurs niveaux.

En termes de planification, le modèle à inventer est celui d'une planification adaptative basée sur le suivi des aménagements réalisés afin d'évaluer de manière régulière l'atteinte des objectifs et de permettre le réajustement des actions. La vigilance doit être axée sur la détection de phénomènes de maladaptation – solution à un problème générant au fil du temps d'autres problèmes – et sur l'acceptabilité des mesures proposées, et leur appropriation par la population. Cela nécessite également de refonder les logiques de veille et d'alerte.

La planification adaptative est par ailleurs associée à un autre mode de penser et à une posture nouvelle face à l'imprévu. Désormais, nombreux sont ceux qui mettent l'accent sur la nécessité d'apprendre aux dirigeants et responsables de services divers à penser hors des cadres habituels - « Think out of the box » - et développer la capacité intellectuelle pour piloter un système instable, chaotique, non plus seulement incertain mais inconnu (Lagadec, 2013, 2015). Dans son Kit de préventique pour « piloter en univers inconnu » (2013), Patrick Lagadec liste les comportements indispensables à avoir dans les cinq registres majeurs que sont : anticiper, détecter, réagir, inventer et mobiliser, ainsi que les pistes permettant d'y parvenir.

Il souligne ainsi « qu'il ne s'agit plus de surveiller des facteurs déjà connus, mais de se mettre en capacité de repérer ce que l'on ne connaît pas, qui dépasse nos capacités d'entendement habituelles ». Il invite alors à rechercher non plus seulement les signaux faibles mais les signaux aberrants, à repérer des dynamiques inconnues, et les cultures pénalisantes « les signaux non conventionnels viennent le plus souvent par des voies elles-mêmes non conventionnelles, et circulent mal dans les canaux officiels. Sauf transformation des cultures de veille, les centres d'alerte sont les derniers informés, et les premiers à refuser l'information non conforme (ce qui fait régulièrement la consternation des commissions d'enquête » (Lagadec, 2013, p.7), telle la commission d'enquête sur le 11 septembre.

1.4. La résilience des territoires et des réseaux comme moyen de raisonner sur l'articulation des résiliences individuelles, locales et globales

La quasi-totalité des travaux sur la résilience territoriale envisage la résilience des réseaux urbains comme une composante allant nécessairement de pair avec la résilience des villes, de telle sorte qu'améliorer la fiabilité des réseaux seraient nécessairement un vecteur d'amélioration de la résilience urbaine. Elle relève dans ce cadre d'un paradigme dit techniciste, qu'il nous parait nécessaire d'interroger.

En effet, quelques travaux estiment, à l'inverse, que c'est la nature même de la dépendance des systèmes urbains aux réseaux et à des ressources distales qui constitue un élément de non résilience des villes et des territoires (Rémond, 2009), et prennent pour point de départ « l'hypothèse que le développement de réseaux va de pair avec le développement de la vulnérabilité des territoires » (Dutozia, 2013). La non résilience d'une ville ne saurait donc être imputée strictement à des réseaux techniques non résilients, mais plus largement à son fonctionnement dépendant des réseaux. Ce souci d'une réduction de la dépendance des villes fait d'ailleurs son chemin et, sans tomber dans une recherche d'un retour à l'âge de pierre, on peut en retrouver certains éléments dans les principes de la ville frugale ayant pour propriété la solidarité, la convivialité, la sobriété, la capacité de ralentir, sans pour autant s'arrêter ou remettre en question la sûreté des habitants.

Par exemple, on peut considérer qu'un réseau technique résilient, qui minimise la fréquence, l'ampleur et la durée des pannes, contribue à accroitre la dépendance des individus à la continuité de service et diminue leur capacité réactive si une coupure venait à avoir lieu. Un réseau électrique résilient, c'est-à-dire qui parvient à maintenir une continuité de services, peut alors contribuer à développer une société urbaine non résiliente aux coupures électriques. Inversement un territoire qui subit régulièrement des coupures, et donc alimenté par un réseau faiblement résilient, peut contribuer à une société plus résiliente aux coupures électriques, dans le sens où les populations résidentes auront une certaine habitude des coupures et auront développé davantage de mécanismes de compensation pour pouvoir fonctionner dans un contexte d'interruption de services.

Si on prend l'exemple de l'électricité et de la résilience individuelle face aux coupures, deux logiques sont envisageables et complémentaires, l'autonomie électrique (batterie, système de production autonome, groupe électrogène) et l'alternative à l'électricité (bougie, lampe pétrole, système d'appoint pour la cuisson, le chauffage, l'éclairage). Au Canada, par exemple, le département de sécurité public du gouvernement demande aux habitants de préparer leur domicile et de prévoir des trousses d'urgences permettant d'être autonome au moins 72 heures sans alimentation en eau ni électricité (https://www.preparez-vous.gc.ca/cnt/rsrcs/pblctns/pwrtgs-wtd/pwrtgs-wtd-fra.pdf). Une stratégie de résilience des territoires aux coupures électriques ne repose donc pas uniquement sur des réponses techniques et des transformations du réseau, mais peut également être complétée par des mesures et des recommandations relevant de la culture du risque, des pratiques résilientes et d'une responsabilisation des individus.

2. Les axes et thématiques à déverrouiller

2.1. Les manques et thématiques à déverrouiller dans l'axe « résilience et gestion des évènements à risques »

2.1.1. Une ontologie de la résilience des villes

Les définitions de la résilience varient assez largement selon les approches métiers et les composantes du système urbain auxquelles la résilience est sensée s'appliquer :

- Pour les réseaux électriques, la résilience se définit comme la capacité du réseau à maintenir son fonctionnement et l'approvisionnement électrique malgré l'endommagement d'un ou plusieurs équipements du réseau électrique (qu'il s'agisse de postes de transformations ou de lignes électriques).
- Pour les bâtiments, la résilience va davantage désigner la capacité d'un bâtiment à annuler ou minimiser son degré d'endommagement suite à un choc sismique ou face à une montée des eaux.
- Pour les sociétés, la résilience communautaire renvoie à la capacité d'une communauté à vivre, maintenir sa cohésion et fonctionner après une catastrophe ou dans un contexte de forte perturbation.

2.1.2. La résilience des villes au-delà de la résilience de ses infrastructures

Ainsi, le besoin de connaissances se situe également au niveau des interdépendances territoires réseaux, de la dépendance sociétale différenciée aux services fournis par les réseaux, à l'acceptabilité sociale des dysfonctionnements du système technique, des impacts sociétaux et les mécanismes de transformation d'une panne technique en une ville en panne, voire une ville qui met en danger tout ou partie de ses habitants (Dutozia, 2013 ; Voiron-Canicio et al., 2017). On peut souligner dans ce cadre la pertinence d'une approche géographique et spatiale pour considérer à la fois la ville et sa résilience dans la dimension humaine, bâti et réseau technique.

La résilience urbaine face aux risques implique également la nécessité de rechercher une résilience générale plutôt que spécifique à un type d'aléa. Une mesure en faveur de la résilience ne peut donc pas se réaliser au détriment de l'exposition à un autre type de risque, de même que les mesures en faveur de la résilience face aux aléas que nous connaissons aujourd'hui ne doivent pas mettre en péril la résilience des systèmes territoriaux face à de menaces et des risques futurs dont nous ne connaissons pas encore précisément les propriétés et les limites. Enfin, cette recherche d'une résilience générale, plutôt qu'une résilience relative, traduit une posture où on considère que la résilience réside moins dans la nature de la perturbation à l'origine de son déclenchement, que dans la manière dont l'organisation du système territoire - réseau va produire cette perturbation puis réagir à elle, et ainsi potentialiser la réalisation de certaines chaînes d'impacts indirects.

2.1.3. Besoin de passerelles, d'espaces de dialogues et d'outils facilitant les échanges entre le génie civil et les SHS

Si, depuis une dizaine d'années, des architectes et urbanistes, interrogent la manière de construire la ville de demain, dans un contexte de changement et d'incertitude associée, au travers de nouveaux concepts - ville recyclable, flexible, réversible – force est de constater, qu'à ce jour, ils accordent peu d'attention à la problématique du risque, et *a fortiori* à la résilience urbaine face aux risques (Brun et al., 2011, 2013). À leur décharge, il faut convenir qu'il n'existe pas de cadre formel pour l'évaluation de la résilience (Hémond, 2013 ; Voiron-Canicio et al, 2017) et que le concept demeure flou. De plus, la réflexion ouverte par le livre de Nassim Nicolas Taleb, Antifragile, paru en 2012, a eu relativement peu de retombées sur la résilience urbaine. L'éclaircissement théorique et la mise au point de nouvelles méthodes permettant la conception et la construction de villes plus résilientes imposent alors de tisser des liens entre les disciplines et les corps de métiers.

2.1.4. « Un devoir penser la technique dans les lieux » (Ferrier, 2002)

Le système urbain et les risques qui lui sont associés sont classiquement analysés en termes d'interface environnement / société (ou nature /culture). Compte tenu du fait que le système technique occupe une place inédite dans l'équilibre Homme-Milieu et dans l'habitabilité des territoires (en particulier urbain), nous proposons, à la suite de plusieurs auteurs, d'intégrer davantage la composante technique et infrastructurelle dans cette réflexion et de repenser le territoire et les systèmes de risques comme interface environnement – société – technique.

En évitant de céder aux postures fatalistes ou tomber dans un techno-optimisme béat, la réflexion autour de la naturalité et la technicité des sociétés urbaines hypermodernes (Ascher, 2009) s'avère d'autant plus intéressante à mener dans un contexte de développement des villes fondé sur une stratégie de Smart City, qui prône l'intégration rapide de nouvelles technologies dans la construction des villes de demain.

2.1.5. Anticiper la reconstruction et le relèvement des villes après une catastrophe

Les effets à court terme des épisodes catastrophiques et l'estimation de leurs potentiels de destruction par impacts directs et indirects font l'objet d'un nombre relativement important de travaux. En revanche, les stratégies de reconstruction d'un quartier ou d'une ville à la suite d'une destruction partielle ou totale sont encore assez peu traitées et soulèvent de nombreuses questions ; ces questions ne sont pas uniquement d'ordre techniques, et nécessitent une fois de plus, de replacer le lieu à reconstruire dans un contexte temporel et territorial plus large.

On peut se demander par exemple, comment optimiser la reconstruction d'une ville, dans une situation d'urgence, tout en respectant le concept de Buid Back Better mais aussi en privilégiant l'utilisation des ressources locales ou en respectant l'identité d'un lieu par exemple ; ou encore comment faire en sorte que la reconstruction de la ville s'effectue dans un rythme ou un ordre qui soit le plus propice possible à rétablir rapidement et efficacement

le fonctionnement sociétal du système urbain ; autrement dit, quelles fonctionnalités urbaines doivent être prioritairement remises en place pour permettre de redonner une habitabilité aux zones sinistrées ?

2.2. Les manques et thématiques à déverrouiller dans l'axe « Résilience et développement durable des territoires »

Le contexte de transition écologique, climatique et économique, nous place dans un contexte de forte incertitude, qui rend la prospective classique, difficile à mener. Il s'agit alors de se préparer à ce qu'on ne peut pas prévoir avec précision, de ne pas aménager la ville simplement en fonction de contraintes et de possibilités actuelles, mais en considérant que « la ville ne va pas être conçue ni aménagée en fonction d'une perception statique qui assurerait dans l'instant la perfection de la fonction, mais elle va s'ouvrir sur un avenir non exactement contrôlé ni contrôlable, non exactement mesuré ni mesurable, et le bon aménagement de la ville, ça va être précisément : tenir compte de ce qui peut se passer. » Michel Foucault, Sécurité, Territoire, Population (Cours au Collège de France, 11 janvier 1978)

Flexibilité, mutabilité, réversibilité, transition d'équilibres, deviennent alors les mots clefs de cette approche de la résilience. Pour perdurer, il s'agit de conserver la capacité de changer, changer en fonction de contraintes, de possibilités et d'objectifs, qu'on admet ne pas pouvoir connaitre avec certitude. La trajectoire résiliente d'un territoire reflète alors sa capacité à créer de l'innovation dans son développement, à réagir et inventer en continu des voies de développements autres que celles rendues impossibles ou non souhaitables par un changement externe ou interne, mais aussi à se réinventer en fonction des nouvelles possibilités techniques qui émergeront dans le futur. En fait, sans cette partie prospective, on peut se demander si l'analyse de la résilience et des risques dans les systèmes territoires-réseaux ne relève pas d'avantage d'une analyse de la vulnérabilité. Imaginer et aménager la ville résiliente passe alors par un changement de regard, une vision inédite de l'urbanisme, qui privilégie à la durabilité, la mutabilité et la capacité de transformation des formes et des fonctions urbaines dès la conception des bâtiments et des quartiers.

2.2.1. Anticiper les futurs urbains pour une résilience durable des territoires

Imaginer la ville de demain en termes de scénarios de développement

S'appuyer sur les scénarios pour explorer dans un modèle de simulation de croissance urbaine sur des périodes longues, capable d'intégrer :

- La croissance du bâti et de possibles innovations des dispositifs techniques dans le domaine du bâtiment (consommation énergétique liée à la construction, au fonctionnement et à la destruction par exemple)
- La croissance des réseaux techniques, de leur structure (concentrée ou décentralisée pour l'énergie électrique par exemple) et les possibles évolutions des pratiques et usages des habitants (mobilité, consommation, recours aux technologies numériques et dépendance différenciée).

- Des innovations futures susceptibles de modifier profondément le fonctionnement des systèmes urbains en rendant possible de nouvelles voies de développement ; tout comme des nouvelles menaces ou contraintes qui en rendraient d'autres non-souhaitables.

A partir de ces différents scénarios, trajectoires d'évolution des systèmes urbains, il s'agit d'anticiper la survenue possible de nouvelles tensions et de nouvelles vulnérabilités

a) Articuler les temporalités de la résilience évènement et la résilience développement dans un même modèle

A l'exemple du modèle SERENICIM (UMR ESPACE, 2010), il s'agit d'inclure dans un même modèle deux temporalités de fonctionnement, le court terme pour l'évènementiel et le long terme pour le changement climatique, les changements comportements etc…

b) Évaluer la résilience urbaine et innover sur le plan méthodologique. (Ne pas utiliser que des critères évaluables, s'intéresser à ce qu'on ne sait pas évaluer)

c) Besoin de passerelles, d'espaces de dialogues et d'outils facilitant les échanges entre les prospectivistes et les gestionnaires du risque

d) Des corpus théoriques à interroger pour une approche formelle de la résilience

3. Les propositions d'actions :

3.1. Propositions d'actions pour l'axe « Résilience et Évènements Climatiques »

a) Créer des lieux et des évènements propices à sensibiliser, à former et à stimuler les échanges entre le génie civil, les urbanistes, les sciences sociales et les experts du risque. Incontestablement, ces liens transdisciplinaires s'avèrent une condition *sine qua non* à l'opérationnalisation du concept de résilience des villes et à l'extension de son domaine d'utilisation au-delà de la question des risques et des catastrophes.

b) En s'appuyant sur l'actuel séminaire du DU (diplôme universitaire) Résilience Urbaine, il s'agirait de développer la formation de ce module et l'étendre à un mois en insistant sur l'aspect opérationnel de la résilience.

c) Nécessité d'introduire un raisonnement multi-niveau pour aborder la résilience avec pour objectif la détection de phénomènes anormaux au niveau du quartier mais aussi du bâtiment, au moyen de capteurs disposés dans le bâtiment donnant des informations sur la situation en contexte d'aléas et interconnectés à un PC de sécurité communal (prototype de Safe and Smart city).

d) Apprendre à agir en contexte incertain suivant les préconisations du MEEM : « Il est essentiel que cette culture de la synthèse décisionnelle en avenir incertain et de la réévaluation des situations s'approfondisse ». Sur le plan opérationnel, il s'agit alors de « développer en interne auprès de la hiérarchie des services, la culture des aléas et des incertitudes, et s'exercer à tirer des diagnostics simples d'une information nécessairement complexe produite par les prévisionnistes » (CGEDD, 2016).

3.2. Propositions d'actions pour l'axe Résilience et Développement durable des Territoires

a) Mise en œuvre d'une nouvelle méthode d'analyse de la résilience intégrant au diagnostic de résilience un volet d'analyse du potentiel d'adaptabilité suivant le modèle ci-dessous :

Diagnostic de la résilience sur le territoire et les potentialités d'adaptabilité (état de l'existant)

- **Phase 1**

Diagnostic : analyse des dynamiques du système territorial, des différents risques existants, des effets dominos des risques sur les différents réseaux (ex : incendie -> réseau électrique -> réseau d'alimentation en eau -> station d'épuration)
Analyse de la manière dont le territoire étudié réagit à une perturbation d'origine naturelle ou anthropique, surmonte la crise.
Existence ou non de retours, évaluation sur les 20 dernières années.
Mise en évidence de processus de résistance ou d'adaptation

➢ **Phase 2**

Analyse du couple territoire-changements
Recherche de la *sensibilité* d'un territoire au changement : La sensibilité caractérise le comportement différencié des espaces face à un même évènement du fait de leurs qualités propres et de leur stade de développement.
Observation de la logique de changement : trajectoire, mode de développement, stade d'évolution -> profil de trajectoires ; réactivité, proactivité des acteurs.

Potentiel d'adaptabilité

➢ Évaluation de la capacité d'adaptation d'un territoire à partir de conditions considérées (par les experts scientifiques internationaux, Holling, Folke…) comme favorisant l'adaptation : la diversité des acteurs, la circulation de l'information, la mobilisation de la mémoire collective des crises…
➢ Identification des leviers et freins pour renforcer l'adaptabilité d'un territoire :
⇨ Rencontre avec les acteurs (Vinci, NCA, EDF, autres opérateurs, …)
⇨ Intégration des dires d'expert - gestionnaires du territoire, opérateurs - dans la plateforme HAZUR (Opticits Barcelona) d'analyse de la résilience urbaine.
⇨ Simulations sur les variations du niveau de résilience atteint selon différentes options possibles d'organisation des opérateurs et d'aménagements (rôle joué par certaines infrastructures, impacts variables selon leur localisation sur le territoire, atténuation des vulnérabilités, émergence de nouvelles vulnérabilités…
⇨ Définition des enjeux et des espaces à enjeux sur le territoire étudié.

Définition d'une stratégie d'actions sur le territoire (à faire avec Vinci construction France)

b) Test de réplicabilité de la méthode sur différents types de terrains.

Sensibilisation des personnels et diffusion de la méthode d'estimation de la résilience par des séminaires et des actions de formation universitaire

CONCLUSION

Deux volets majeurs se dégagent de ce tour d'horizon des recherches et des perspectives autour du concept de résilience : le premier s'inscrit dans le paradigme de la gestion des risques et du management de crise (que nous avons regroupé dans un axe « résilience et évènement ») ; le second, dans celui du développement durable des territoires et de la prospective (que nous avons résumé dans un axe « résilience et développement »). S'il n'existe pas nécessairement de contradiction entre les recherches et les concepts mobilisés sur la résilience du temps court et celle du temps long, il apparait toutefois que leur articulation reste largement à éclaircir et que très peu de recherches s'intéressent simultanément à ces deux temporalités pour aborder la résilience territoriale. C'est donc, notamment, dans cette direction, qu'il nous parait opportun de produire des connaissances nouvelles.

Là où peuvent en revanche exister des contradictions, c'est entre une approche technique et une approche sociétale de la résilience des territoires. Nous avons vu que certaines réponses techniques aux enjeux de la résilience, favorables à la résilience infrastructurelle, peuvent de manière contre intuitive, jouer défavorablement sur la résilience sociétale en diminuant par exemple l'autonomie ou les pratiques de solidarité entre les individus. Dans ces cas, doit-on en conclure à une augmentation ou une diminution de la résilience urbaine ? Pour prendre en compte cette complexité des enjeux urbains, l'approche par le prisme des territoires et des réseaux peut alors constituer un cadre fructueux pour penser conjointement résilience individuelle, locale et globale.

D'autre part, avant de constituer une réponse ou une stratégie du changement, la résilience implique également, au préalable, un certain nombre de questions profondes sur le devenir des territoires, sur leur identité, sur la manière de cohabiter durablement les lieux et même plus largement sur des choix de sociétés. La place de la technique dans les sociétés, l'acceptabilité des risques ou des interruptions de services urbains, le mode de gouvernance des territoires (avec l'émergence d'un néo-localisme répondant à un contexte de crise des nations et de montée des populismes en Europe et en Amérique), l'ouverture des villes aux populations exilées (avec notamment la question des réfugiés climatiques qui, malgré son caractère stratégique, reste peu envisagée quand on traite de la résilience des villes au changement climatique) sont autant de questions essentielles à la définition collective d'un projet de territoire dans le long terme et que devraient porter une stratégie de résilience territoriale.

Construire la ville résiliente nous paraît également être lié à la préoccupation du maintien de sa capacité de changer et de se transformer en fonction de l'évolution des contraintes et possibilités nouvelles, mais également en fonction du changement des aspirations, des goûts, des opinions et des modes de vies de ses habitants. Construire la ville non résiliente nous parait être à l'inverse, tout processus de transformation des territoires qui concourent à annuler ou amoindrir ses capacités de mutation et rendre irréversibles des trajectoires de lieux, qu'on aura choisi en fonction de contraintes et d'objectifs actuels alors qu'ils seront nécessairement différents demain. A partir de là, les recherches sur la ville résiliente, telles que nous souhaiterions les mener doivent s'attacher à proposer des stratégies collectives de construction des lieux et des modes d'occupation des territoires, qui, tout en satisfaisant les

habitants actuels en termes de qualité de vie et de qualité de ville, ne contrarient pas et même maximisent les degrés de liberté et les marges de manœuvres rendant ainsi possible une réorientation des trajectoires territoriales.

Bibliographie

Adger, WN., (2000), "Social and Ecological Resilience: Are They Related?" *Progress in Human Geography* 24(3), pp. 347 – 364

Ahern, J. (2011), "From fail-safe to safe-to-fail: Sustainability and resilience in thenew urban world". *Landscape and Urban Planning*, 100(4), 341–343. http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.02.021

Alberti M.,, Marzluff J., Shulenberger E., Bradley G., Ryan C., Zumbrunnen C., (2003), Integrating Humans into Ecology: Opportunities and Challenges for Studying Urban Ecosystems, *BioScience*, Volume 53, Issue 12, 1 December 2003, Pages 1169–1179, https://doi.org/10.1641/0006-3568(2003)053[1169:IHIEOA]2.0.CO;2

Allenby, B., Fink J., (2005), "Toward Inherently Secure and Resilient Societies," *Science*, August 12, 2005, 309(5737), pp. 1034 – 1036

ARUP, (2015), *City Resilience Framework*, Research report volume 1

Ascher F., (2009), Organiser la ville hypermoderne - François Ascher, grand prix de l'urbanisme 2009, sous la direction d'Ariella Masbungi, Éditions Parenthèses, 159 p.

Asprone, D., & Latora, V. (2013), "Urban network resilience analysis in case of earthquakes". In G. Deodatis, B. R. Ellingwood, & D. M. Frangopol (Eds.), *Safety,reliability, risk and life-cycle performance of structures & infrastructures* (pp.4069–4075). London, UK: CRC Press.

Barchi P, Marie S., Schomburgk S., Vinchon C., (2003), *Cartographie de la susceptibilité aux mouvements de terrain de la commune de Barly* (Pas de Calais), rapport final BRGM.

Barroca B.**,** Serre D. and Diab Y., (2012), « Le concept de résilience à l'épreuve du génie urbain », *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [Online], Volume 12 Numéro 2 | septembre 2012, URL : http://journals.openedition.org/vertigo/12469 ; DOI : 10.4000/vertigo.12469

Blaikie P., Cannon T., Davis I., Wisner B., (1994), *At risk: natural hazards, people's*

Brown, A., Dayal, A., & Rumbaitis Del Rio, C. (2012), From practice to theory: Emerging lessons from Asia for building urban climate change resilience. *Environment and Urbanization*, 24(2), 531–556. http://dx.doi.org/10.1177/0956247812456490

Brugmann, J. (2012), Financing the resilient city. *Environment and Urbanization*, 24(1), 215–232. http://dx.doi.org/10.1177/0956247812437130

Brun A. (2017), « Le risque inondation en France, trois études de cas », *in La ville résiliente, comment la construire ?*, Collectif, Isabelle Thomas, Antonio Da Cunha, Collection PUM, Montréal, 322 p

Brun A., Gache F. (2013), « Risque inondation dans le Grand Paris : la résilience est-elle un concept opératoire ? », *VertigO* - la revue électronique en sciences de l'environnement [En

ligne], Regards / Terrain, mis en ligne le 31 décembre 2013. URL : http://vertigo.revues.org/14339 ; DOI : 10.4000/vertigo.14339

Brun A., et Adisson F. (2011), « Renouvellement urbain et risque inondation : le plan-guide « Seine-Ardoines » », *Cybergeo : European Journal of Geography* [En ligne], Aménagement, Urbanisme, document 561, mis en ligne le 29 octobre 2011. URL : http://cybergeo.revues.org/24751 ; DOI : 10.4000/cybergeo.24751

Brunet R., (1995), « La géographie, science des territoires et des réseaux », *Cahiers de Géographie du Québec,* volume 39, n° 108, décembre 1995, p. 477-482.

Calla S., (2013), «*Le gouvernement des catastrophes*», Sandrine Revet et Julien Langumier (dir.), *Lectures*, Les comptes rendus, mis en ligne le 25 octobre 2013, http://lectures.revues.org/12523, consulté le 26 août 2015.

Campanella T.J. (2006), Urban Resilience and the Recovery of New Orleans", *Journal of the American Planning Association*, Spring 2006, Vol. 72, No. 2

CGEDD-IGA, (2017), *Inondations de mai et juin 2016 dans les bassins moyens de la Seine et de la Loire, Retour d'expérience,* Rapport du Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable et de l'Inspection Générale de l'Administration.

Chelleri, L. (2012), *From the «Resilient City» to urban resilience. A review essay on understanding and integrating the resilience perspective for urban systems*. Documents d'Anàlisi Geogràfica, 58(2), 287–306.

Coaffee, J. (2013), "Towards next-generation urban resilience in planning practice: From securitization to integrated place making". *Planning Practice and Research*, 28(3), 323–339. http://dx.doi.org/10.1080/02697459.2013.787693

Comfort, L. K., (1999), *Shared Risk: Complex Systems in Seismic Response*, Pergamon: New York

Cyrulnik B. (1999), *Un merveilleux malheur*, Editions Odile Jacob, Poche.

Da Cunha A., Thomas I. (2017), « Introduction » *in La ville résiliente, comment la construire ?*, Collectif, Isabelle Thomas, Antonio Da Cunha, Collection PUM, Montréal, 322 p.

Desouza, K. C., & Flanery, T. H. (2013), Designing, planning, and managing resilient cities: A conceptual framework. Cities, 35, 89–99. http://dx.doi.org/10.1016/j.cities.2013.06.003

Dron, D. (2013), La résilience : un objectif et un outil de politique publique Son apparition en France, et quelques perspectives. *Annales des Mines - Responsabilité et environnement*, 72, (4), 12-16. doi:10.3917/re.072.0012.

Dutozia J. (2013), *Espaces à enjeux et effets de réseaux dans les systèmes de risques*, Thèse de doctorat de Géographie et Aménagement du territoire, Université de Nice Sophia Antipolis.

Dutozia J., (2014), « Une analyse spatiale des systèmes de risques intégrant l'incertitude et l'interaction spatiale au service de l'anticipation des effets dominos inondations-coupures électriques », *Conférence Internationale SAGEO, Atelier Innovations Géomatiques pour la Gestion des Risques Naturels et Techniques*, Grenoble, 24 novembre 2014

Duvat V.,(2008), « Le système du risque à Saint-Martin (Petites Antilles françaises) », *Développement durable et territoires* [Online], Dossier 11 | 2008, Online since 06 November 2008 URL : http://journals.openedition.org/developpementdurable/7303

Ernstson, H., van der Leeuw, S. E., Redman, C. L., Meffert, D. J., Davis, G., Alfsen, C.,et al. (2010), Urban transitions: On urban resilience and human-dominatedecosystems. *Ambio,* 39(8), 531–545. http://dx.doi.org/10.1007/s13280-010-0081-9

Farrel A.E., Lave LB. Granger M. (2002), Bolstering the security of the electric power system, Issues in *Science and technology*, volume XVIII, issue 3.

Fiksel, J., (2003), "Designing Resilient, Sustainable Systems," *Environmental Science and Technology* 37(23), pp. 5330 – 5339

Foucault M. (2004), *Sécurité, Territoire, Population*, Cours au Collège de France 1977-1978, éditions EHESS, Gallimard, Seuil.

Fusco G., (2017), *Ville, complexité, incertitude – Enjeux de connaissance pour le géographe et l'urbaniste*, Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches, Université Côte d'Azur, 268 p.

Djament-Tran G., Le Blanc A., Lhomme S., Rufat S., Reghezza-Zitt M., (2011), *Ce que la résilience n'est pas, ce qu'on veut lui faire dire*. Version française d'un article en anglais soumis à évaluation. 2011. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00679293

Godschalk, D. R. (2003), Urban hazard mitigation: Creating resilient cities. *Natural Hazards Review*

Gonzva M., (2017), *Résilience des systèmes de transport guidé en milieu urbain : approche quantitative des perturbations et stratégies de gestion. Architecture, aménagement de l'espace*. Thèse de doctorat, Université Paris-Est, 2017.

Gunderson, L.H., Holling C.S, Lowell P. Jr., Peterson G., (2002), "Resilience of Large-Scale Resource Systems," in *Resilience and the Behavior of Large-Scale Systems*, Gunderson L. and Lowell P. Jr. eds., Island Press: Washington, D.C.

Hamilton, W. A. H. (2009), Resilience and the city: The water sector. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers Urban Design and Planning*, 162(DP3), 109–121. http://dx.doi.org/10.1680/udap.2009.162

Haraguchi M., Kim S. (2016), "Critical infrastructure interdependence in New York City during Hurricane Sandy", *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*

Hasan, S., Foliente, G. (2015), "Modeling infrastructure system interdependencies and socioeconomic impacts of failure in extreme events: emerging R&D challenges", *Natural Hazard*s, 78: 2143.

Hémond Y., (2013), *Concepts et démarche d'évaluation du potentiel de résilience d'une infrastructure essentielle*, Thèse de doctorat, Ecole Polytechnique de Montréal, 146 p.

Henstra, D. (2012), "Toward the climate-resilient city: Extreme weather and urban climate adaptation policies in two Canadian provinces". *Journal of Comparative Policy Analysis: Research and Practice*, 14(2), 175–194. http://dx.doi.org/10.1080/13876988.2012.665215

Holling CS., (1973), "Resilience and Stability of Ecological Systems", *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4:1, 1-23

Horne, J F. III, and Orr J.E., (1998), "Assessing Behaviors that Create Resilient Organizations," *Employment Relations Today* 24(4): 29 – 39 http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2009.11.005

Laganier R., Serre D., (2017), « Les conditions et la mise en œuvre de la résilience urbaine », *in La ville résiliente, comment la construire ?*, Collectif, Isabelle Thomas, Antonio Da Cunha, Collection PUM, Montréal, 322 p.

Laganier, R. (2013), « Améliorer les conditions de la résilience urbaine dans un monde pluriel : des défis et une stratégie sous contrainte ». *Annales des Mines - Responsabilité et environnement*, 72,(4), 65-71. doi:10.3917/re.072.0065.

Lamond, J. E., & Proverbs, D. G. (2009), Resilience to flooding: Lessons from international comparison. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers Urban Design and Planning*, 162(DP2), 63–70. http://dx.doi.org/10.1680/udap.2009.162

Leichenko, R. (2011), "Climate change and urban resilience. Current Opinion », in *Environmental Sustainability*, 3(3), 164–168. http://dx.doi.org/10.1016/j.cosust.2010.12.014

Lhomme S., (2012), *Les réseaux techniques comme vecteur de propagation des risques en milieu urbain. Une contribution théorique et pratique à l'analyse de la résilience urbaine*, Thèse de doctorat, Université Paris-Diderot, 365 p.

Lhomme S., Djament-Tran G., Reghezza M., Rufat S. (2012), « Penser la résilience urbaine », Djament-Tran G., Reghezza-Zitt M., *Résiliences urbaines, les villes face aux catastrophes*, Editions Le Manuscrit.

Lhomme, S., Serre, D., Diab, Y., & Laganier, R. (2013), "Urban technical networks resilience assessment ", In R. Laganier (Ed.), *Resilience and urban risk management* (pp. 109–117). London: CRC Press. http://dx.doi.org/10.1201/b12994-13

Liao, K.-H. (2012), "A theory on urban resilience to floods – A basis for alternative planning practices", *Ecology and Society*, 17(4), 48,

Lu, P., & Stead, D. (2013), "Understanding the notion of resilience in spatial planning: A case study of Rotterdam", *The Netherlands. Cities*, 35, 200

Malet JP., Thiery Y., Maquaire O., Puissant, A., (2006), "Landslide susceptibility, vulnerability and risk assessment through GIS procedures: a tentative application in the south French Alps", *Revue Internationale de Géomatique, European Journal of GIS and Spatial Analysis*, 16(3-4), pp. 499-525

Meerow S., Newell JP., Stults M, (2016), "Defining urban resilience: A review", *Landscape and urban planning* 147, 38-49, 2016

Foucault M., (1978), *Sécurité, Territoire, Population* (Cours au Collège de France, 11 janvier 1978)

Mileti, D S., (1999), *Disasters by Design: A Reassessment of Natural Hazards in the United States*, Joseph Henry Press: Washington, D.C.

Mitchell T., Wilkinson E., (2012), *Disaster risk management in post-2015 policy frameworks: Forging a more resilient future*, Briefing Paper, n° 75, Overseas Development Institute, june.

November V., (2006), « Le risque comme objet géographique », *Cahiers de Géographie du Québec*, vol.50, n°14, p.289-296.

Pederson P., Dudenhoeffer, D., Hartley S., Permann M. (2006), *Critical Infrastructure Interdependency Modeling: A Survey of U.S. and International Research,* Idaho National Laboratory.

Pickett, S. T. A., Cadenasso, M. L., & Grove, J. M. (2004), "Resilient cities: Meaning,models, and metaphor for integrating the ecological, socio-economic, and planning realms". *Landscape and Urban Planning*, 69(4), 369–384. http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2003.10.035

Quenault B., (2013), « Du double affrontement ontologique/axiologique autour de la résilience aux risques de catastrophe : les spécificités de l'approche française », *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, Volume 13, numéro 3, décembre 2013, https://vertigo.revues.org/14510

Quenault B., (2015), « De Hyōgo à Sendai, la résilience comme impératif d'adaptation aux risques de catastrophe : nouvelle valeur universelle ou gouvernement par la catastrophe ? », *Développement durable et territoires* [En ligne], Vol. 6, n°3 | Décembre 2015, mis en ligne le 18 décembre 2015

Reymond H., (2009), « L'intérêt géographique de la logique de S. Lupasco et de la théorie de la néoténie : proposition d'un crible transdisciplinaire pour l'étude de la résilience des géosystèmes urbains », *Cybergeo : European Journal of Geography* [En ligne], Systèmes, Modélisation, Géostatistiques, document 451, mis en ligne le 30 avril 2009, consulté le 07 juin 2013. URL : http://cybergeo.revues.org/22397 ; DOI : 10.4000/cybergeo.22397

Robert B., Morabito L., Cloutier I., Hémond Y., (2012), « An EWS Inspired Tool for Anticipating Domino Effects among Critical Infrastructures », *9e Annual symposium CRHNET*, 12-10-25.

Robert B., Hémond Y., Cloutier I., (2017), « Un outil d'anticipation pour la résilience des infrastructures essentielles », *in La ville résiliente, comment la construire ?*, Collectif, Isabelle Thomas, Antonio Da Cunha, Collection PUM, Montréal, 322 p.

Rolland May. C., (1987), « La théorie des sous-ensembles flous et son intérêt en géographie », *L'Espace Géographique*, 16-1.

Romero-Lankao, P., & Gnatz, D. M. (2013), "Exploring urban transformations in Latin America. Current Opinion" in *Environmental Sustainability*, 5(3–4), 358–367. http://dx.doi.org/10.1016/j.cosust.2013.07.0088

Rose, A., and Shu-Yi L., (2005), "Modeling Regional Economic Resilience to Disasters: A Computable General Equilibrium Analysis of Water Service Disruptions," *Journal of Regional Science* 45(1), pp. 75 – 112

Rufat S., (2012), « Existe-t-il une mauvaise résilience ? », *in* Djament-Tran G., Reghezza-Zitt M., *Résiliences urbaines : Les villes face aux catastrophes*, Paris, Éditions Le Manuscrit, coll. Fronts pionniers, p. 195-241.

Rumpala Y., (2003), « Régulation publique et environnement ». *Questions écologiques, réponses économiques*, Paris, L'Harmattan, coll. « Logiques politiques », 373 pages.

Satumtira, G. and L. Dueñas-Osorio, (2010). "Synthesis of modeling and simulation methods on critical infrastructure interdependencies research." In K. Gopalakrishnan and S. Peeta (Eds.), *Sustainable Infrastructure Systems: Simulation, Imaging, and Intelligent Engineering*. New York: Springer-Verlag.See Appendix A - Literature Matrix and Column Codes

Scherrer F. (2017), «Avant-propos» *in La ville résiliente, comment la construire ?*, Collectif , Isabelle Thomas, Antonio Da Cunha, Collection PUM, Montréal, 322 p.

Serre D., (2011), *La ville résiliente aux inondations Méthodes et outils d'évaluation. Architecture, aménagement de l'espace*. Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches, Université Paris-Est, 2011.

Shinozuka M., Rose A., Eguchi R.T. (1998). *Engineering and Socioeconomic Impacts of Earthquakes— An Analysis of Electricity Lifeline Disruptions in the New Madrid Area*, Monograph Series; n°2. Buffalo, N.Y., Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research.

Shinozuka, M. and Chang, S.E., (2004), "Evaluating the Disaster Resilience of Power Networks and Grids," in *Modeling Spatial Economic Impacts of Disasters*, Springer- Verlag, edited by Y. Okuyama and S.E. Chan

Stathopoulos M., (2011), Qu'est-ce que la résilience urbaine ? *Revue Urbanisme*, Publications d'architecture et d'urbanisme, 2011, pp.90-92. https://hal-univ-paris8.archives-ouvertes.fr/hal-01078021

Sterbenz J.P.G., Çetinkaya E.K., Hameed M.A., Jabbar A., Qian S., Rohrer J.P. (2013), "Evaluation of Network Resilience, Survivability, and Disruption Tolerance: Analysis, Topology Generation, Simulation, and Experimentation (invited paper)", Springer Telecommunication Systems, vol. 52 iss. 2.

Taleb N. N. (2012), *Antifragile, les bienfaits du désordre*, Editions Les Belles Lettres

Theys J., (2000), *Développement durable, villes et territoires ; Innover et décloisonner pour anticiper les ruptures*, n°13, Publications du centre de prospective et de veille scientifique sur le thème du développement durable.

Theys J., (2010), « Le *développement durable vingt ans après* : *plaidoyer pour une seconde étape* », in *THEYS* Jacques, DU TERTRE C., RAUSCHMAYER F., Le *Développement durable* : la *seconde étape*, Paris, Éditions de l'Aube, coll. « Monde en cours », 2010, p. 21-59.

Thornbush, M., Golubchikov, O., & Bouzarovski, S. (2013), Sustainable cities targeted by combined mitigation–adaptation efforts for future-proofing. *Sustainable Cities and Society*, 9, 1–9. http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2013.01.003

Tierney, K., Bruneau M., (2007), "Conceptualizing and Measuring Resilience: A Key to Disaster Loss Reduction," *TR News*, May, 2007, pp. 14 – 17

Toubin M., Lhomme S., Diab Y., Serre D., Laganier R., (2012), « La Résilience urbaine : un nouveau concept opérationnel vecteur de durabilité urbaine ? », *Développement durable et territoires*, Vol. 3, n° 1

Toubin M., (2014), *Améliorer la résilience urbaine par un diagnostic collaboratif, l'exemple des services urbains parisiens face à l'inondation*, Thèse de doctorat de Géographie. Université Paris-Diderot – Paris VII, 408 p.

Tyler, S., & Moench, M. (2012), "A framework for urban climate resilience". *Climate and Development*, 4(4), 311–326.

UNISDR (2012), *Rendre les villes plus résilientes - Manuel à l'usage des dirigeants des gouvernements locaux. Une contribution à la Campagne mondiale 2010-2015 Pour des villes résilientes – Ma ville se prépare !*, Genève.

U.S. Department of Homeland Security Risk Steering Committee, (2008), DHS Risk Lexicon. http://www.dhs.gov/xlibrary/assets/dhs_risk_lexicon.pdf

U.S. Department of Homeland Security, (2006), *National Infrastructure Protection Plan,* http://www.dhs.gov/files/programs/editorial_0827.sht

UNIDSR, (2006), *On Better Terms: a glance at key climate change and disaster risk reduction concepts*, Genève, United Nations Office for Disaster Risk Reduction.

Vale L.J. & Campanella T.J. (2005), *The resilient city - How modern cities recover from disaster.* Oxford University Press.

Vespignani, A. (2010), "Complex networks: The fragility of interdependency", *Nature*, Vol. 464, No. 7291.

Voiron-Canicio C., Dutozia J. (2017), « Anticiper et simuler les dynamiques de changement pour diagnostiquer et améliorer la résilience d'un système territorial urbain », Revue en ligne Risques urbains, https://www.openscience.fr/Anticiper-et-simuler-les-dynamiques-de-changement-pour-diagnostiquer-et

Voiron-Canicio C., (2017), « La géogouvernance comme aide à l'appropriation d'une culture du risque », conférence invitée, *Les Entretiens du Risque 2017*, 14-15 novembre 2017, Paris.

Voiron-Canicio C., (2014). « Une ville résiliente ? Quid de l'innovation dans la marche vers la durabilité urbaine ? », in Hajek I. et Hamman P., dir*., La gouvernance de la ville durable ; entre déclin et réinventions*. Rennes : PUF, p 267-277.

Voiron-Canicio C., Saint-Amand P., (2009), « Appropriation et apprentissage du développement durable : les relations entre le modus operandi des collectivités locales et

l'adhésion des populations », *in Appropriations du développement durable. Emergences, Diffusions, Traductions*, sous la direction de B. Villalba, Lille, Presses Universitaires du Septentrion, Collection Sciences Politiques, 388 p.

Voiron-Canicio C., Chery JP., (2005), « Espace géographique, spatialisation et modélisation en Dynamiques des Systèmes », *Actes du 6ème Congrès Européen de Science des Systèmes*, Paris 2005.

Voiron-Canicio C., Olivier F., (2005), « Anticiper à l'aide d'un SIG, les conséquences de la paralysie urbaine en temps de catastrophe : application à la ville de Nice », *In Systèmes d'Information géographique et gestion des risques*, Paris, ISTED.

Voiron-Canicio C., Olivier F., (2003), « Vulnérabilité de la voirie urbaine face au risque de thrombose en temps de catastrophe », *GéoEvènement* 2003, Paris.

Vugrin ED., Warren DW., Ehlen MA. Camphouse CR., (2010), "A Framework for Assessing the Resilience of Infrastructure and Economic Systems", *in Sustainable and Resilient Critical Infrastructure Systems, Simulation, Modeling, and Intelligent Engineering*, ed. Gopalakrishnan K., Srinivas P. Springer 2010.

Vugrin, E. D., Warren, D. E. and Ehlen, M. A. (2011), "A resilience assessment framework for infrastructure and economic systems: Quantitative and qualitative resilience analysis of petrochemical supply chains to a hurricane". *Proc. Safety Prog.*, 30: 280–290. doi:10.1002/prs.10437.

Wagner, I., & Breil, P. (2013). "The role of ecohydrology in creating more resilient cities". *Ecohydrology & Hydrobiology*, 13(2), 113–134.

Wamsler, C., Brink, E., & Rivera, C. (2013), "Planning for climate change in urban areas: From theory to practice", *Journal of Cleaner Production*, 50, 68–81. http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.12.008

Wardekker, J. A., de Jong, A., Knoop, J. M., & van der Sluijs, J. P. (2010), "Operationalising a resilience approach to adapting an urban delta to uncertain climate changes", *Technological Forecasting and Social Change*, 77(6), 987–998.

Werner E., Smith R.S. (1992), *Overcoming the Odds High Risk Children from Birth to Adulthood,* Cornell University Press.

Wildavsky, A. (1991), "Risk Perception", *Risk Analysis*, 11: 15–16. doi:10.1111/j.1539-6924.1991.tb00559.x

Zadeh L., (1978), "Fuzzy sets as a basis for possibility", *Fuzzy Sets and Systems* 29.

Tables des illustrations

Figures :

Figure 1 : La résilience comme capacité d'absorption, d'adaptation et de restauration. (Vugrin et al.2010) _____ 13

Figure 2 : Comparaison graphique de la résilience de deux systèmes (Vugrin et al.2010) __ 14

Figure 3 (a) : Courbes de fragilités associant une probabilité d'endommagement des réseaux électriques liée à l'intensité sismique exprimée en fonction du pic d'accélération (PGA) à partir des données du séisme de Northridge de 1994 ; (b) : simulation des pics d'accélérations sismiques ; (c) : simulation des effets induits en termes d'approvisionnement électrique (Source : Shinozuka et al., 1998). _____ 16

Figure 4 : Densité démographique et niveau d'accessibilité en période d'inondation du Paillon dans la commune de Nice (Source : Voiron-Canicio, Olivier, 2005) _____ 19

Figure 5 : La structure du « bureau de résilience urbaine » du modèle HAZUR_____ 22

Figure 6 : Le modèle de résilience urbaine adopté par la ville de Barcelone. _____ 23

Figure 7 a : Exemple de fuzzyfication d'un périmètre de zone inondable (secteur du vieux port) b : Méthodes appliquées aux zones (Iris) de la commune de Marseille citées au moins une fois dans la presse comme zones inondées entre 1951 et 2003 (pour 5 évènements de référence, 1951, 1978, 1993, 2000 et 2003) c : Estimation de la susceptibilité par croisement avec le nombre de postes électriques. _____ 29

Figure 8 a : Raccordement des nœuds du réseau électrique de distribution publique aux centroïdes des bâtiments résidentiels de la commune de Marseille. b : Croisement susceptibilité (partie 1) avec alimentation électrique des hôpitaux (Données IGN, 2012, BD Topo) _____ 31

Figure 9 : Les trois volets de la résilience Source : Laganier, 2013 _____ 32

Figure 10 : « Recommandations aux villes », (Source : UNISDR, 2012) _____ 36

Figure 11 : Membres du réseau 100RC _____ 37

Figure 12 : Nijmegen : composer avec le risque d'inondation et recomposer l'espace inondable _____ 43

Figure 13 : Un jardin-éponge à Nanterre. (Source : Reporterre, https://reporterre.net/Pour-se-proteger-des-crues-une-solution-cooperer-avec-la-nature) _____ 44

Figure 14 : Exemples de pratiques de gestion optimales à la source végétalisées, proposées par Danièle Dagenais, Chaire en paysage et environnement, Université de Montréal _____ 44

Figure 15 : Des réglementations et des pratiques ignorant la résilience _____ 46

Figure 16 : Modification du PPR inondation de Cannes après travaux de recalibrage des cours d'eau _____ 47

Figure 17 : Exemples de projets lauréats du Grand prix d'Aménagement / Projets 2015 – Comment mieux bâtir en terrains inondables constructibles ? _____ 49

Figure 18 : L'analyse de la résilience comme processus dynamique _____ 51

Tableaux :

Tableau 1 : Définitions de la résilience retenues par Vugrin et al., 2010) _____ 9

Tableau 2 : Définitions de la résilience urbaine retenues par Mearow et al (2016) _____ 11

Tableau 3 : Exemple de tableau de bord pour l'analyse de la cohérence (Robert et al., 2017) _____ 21

Tableau 4 : Paroles de maires impliqués dans la Campagne « Pour des villes résilientes ma ville se prépare » (Source : UNISDR, 2012)_____ 35

Tableau 5 : Objectifs de la ville résiliente (ARUP, 2015) _____ 39

Tableau 6 : Les qualités que doit détenir une ville résiliente (ARUP, 2015)_____ 40