



## Espace populations sociétés

Space populations societies

2016/3 | 2017

Interroger et comprendre les effets d'échelles de la  
vulnérabilité

---

# Échelles spatiales et approches méthodologiques pour l'analyse de la vulnérabilité : d'une approche sectorielle vers une approche systémique

*Spatial scales and methodological approaches for analyzing vulnerability: from a  
sectoral approach to a systemic approach*

Maxime Delaître, Maryline Di Nardo, Michaël Gonzva, Bruno Barroca et  
Youssef Diab



Éditeur

Université des Sciences et Technologies de  
Lille

### Édition électronique

URL : <http://eps.revues.org/7044>

DOI : 10.4000/eps.7044

ISSN : 2104-3752

### Référence électronique

Maxime Delaître, Maryline Di Nardo, Michaël Gonzva, Bruno Barroca et Youssef Diab, « Échelles spatiales et approches méthodologiques pour l'analyse de la vulnérabilité : d'une approche sectorielle vers une approche systémique », *Espace populations sociétés* [En ligne], 2016/3 | 2017, mis en ligne le 31 janvier 2017, consulté le 22 mai 2017. URL : <http://eps.revues.org/7044> ; DOI : 10.4000/eps.7044

---

Ce document a été généré automatiquement le 22 mai 2017.



Espace Populations Sociétés est mis à disposition selon les termes de la licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.

---

# Échelles spatiales et approches méthodologiques pour l'analyse de la vulnérabilité : d'une approche sectorielle vers une approche systémique

*Spatial scales and methodological approaches for analyzing vulnerability: from a sectoral approach to a systemic approach*

Maxime Delaître, Maryline Di Nardo, Michaël Gonzva, Bruno Barroca et Youssef Diab

---

## Remerciements

*Cet article est une occasion pour les auteurs de remercier les partenariats et collaborations qui ont pu enrichir son contenu. En particulier, les travaux réalisés dans le cadre du Projet National de recherche VILLE 10D-VILLE D'IDÉES (Différentes Dimensions pour un Développement urbain Durable et Désirable Décliné Dans une Dynamique « Dessus / Dessous » ; <http://www.ville10d.fr>) et ceux réalisés dans le cadre du Projet RIMAC-DRR (Disaster Risk Reduction) (IRD, COOPI (Cooperazione Italiana) & Care Pérou) et aussi le soutien de l'IFEA de Lima.*

## Introduction

- 1 Avec près de vingt-cinq définitions différentes, six écoles de pensée, une vingtaine de manuels et guides divers concernant son évaluation [Birkman, 2006], assurément la littérature scientifique abonde lorsqu'il s'agit de définir la vulnérabilité considérée par certains comme un paradigme particulier, car ni tout à fait nouveau ni tout à fait classique [Becerra, 2012]. Du point de vue de la gestion des risques – qu'ils soient d'origine naturelle, technologique, sanitaire ou encore sociale – il semble que la volonté

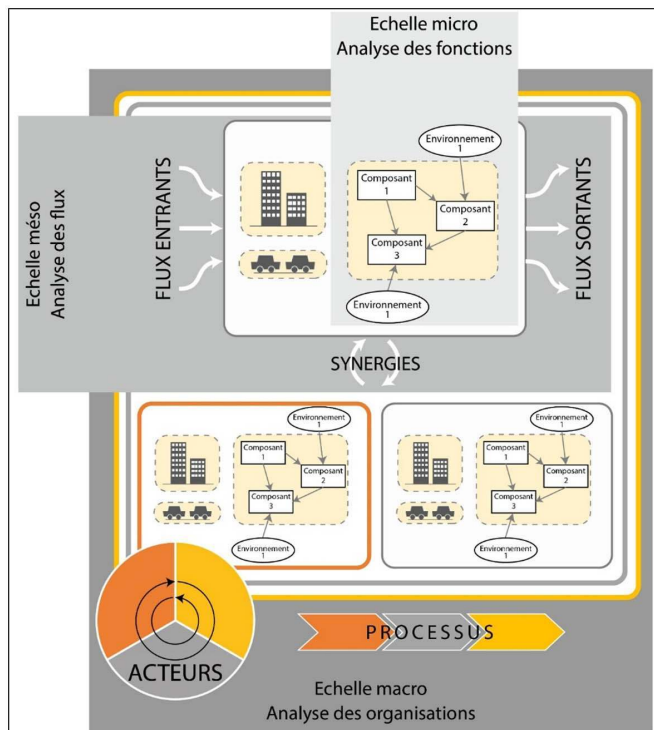
des politiques soit de plus en plus tournée vers l'atténuation de la vulnérabilité urbaine dans le but d'accroître la résilience, au sens de capacité à faire face (coping capacity) [Cumming, 2011], et non plus le contrôle utopique de ces risques eux-mêmes.

- 2 Au-delà de leur gestion et de leur contrôle, la notion même de risque fait l'objet d'une ample polysémie. Elle côtoie et s'imbrique avec d'autres notions ou concepts tels que « aléa », « danger », « vulnérabilité » et « résilience » pour ne citer que les principaux. Le risque oscille entre domaine matériel et immatériel. « Le risque étant la conséquence de la matérialisation du danger, de son expression et de ses conséquences il n'est pas déraisonnable de lier [...] les deux définitions. » [Kervern et Boulenger, 2007]. Cependant, « un risque peut ne pas se matérialiser en catastrophe. » et possède une dimension probabiliste qui lui est accordé par l'aléa [Dauphiné, 2001]. Pour l'auteur, le risque est une fonction de l'aléa et la vulnérabilité. L'aléa étant une probabilité étroitement liée au phénomène pouvant engendrer la catastrophe et la vulnérabilité liée à des conséquences territoriales prévisibles (définition des PPR). De plus, dans le sens où sa représentation paraît plus significative par un groupe social que par un individu isolé, le risque est, dans son fondement, une représentation sociale [Veyret, 2004]. Le risque, dans ses dimensions abstraites, semble se constituer d'une somme de représentations mentales variant suivant les différents acteurs et à travers sa médiatisation. Plus généralement, la diffusion et l'appropriation des concepts propres à la gestion des risques contribuent à façonner sa représentation et, par conséquent, les actions qui lui sont liées.
- 3 Cet article se base sur une définition communément acceptée de la vulnérabilité, soit comme l'endommagement que subit un enjeu, soit comme la propension de l'enjeu à subir cet endommagement. Le parti pris, ici, est d'aborder la vulnérabilité comme une composante sociale, territoriale et physique du risque dont la réduction est un angle d'attaque incontournable dans la gestion des risques affectant le milieu urbain.
- 4 Pour réduire la vulnérabilité urbaine et, plus spécifiquement, celle des systèmes qui constituent les villes, il apparaît indispensable qu'un passage d'ordre méthodologique soit fait entre les dimensions conceptuelles et les usages opérationnels de cette notion. En effet, afin d'élargir les possibilités d'analyse et de mesure de la vulnérabilité, doter ce concept d'une ou plusieurs méthodologies s'avère fondamental lorsque l'enjeu final consiste à mettre en exergue des leviers d'actions opérationnels pour les pratiques de gestion des risques. Cette situation est par ailleurs renforcée par le fait qu'il n'y a pas de consensus méthodologique sur la manière d'évaluer la vulnérabilité [Becerra, 2012].
- 5 Le postulat exprimé dans cet article est double. D'une part, nous faisons l'hypothèse qu'il est possible d'appréhender la vulnérabilité urbaine à différentes échelles spatiales dès lors que sont mobilisées plusieurs méthodologies d'analyse du fonctionnement et de l'organisation des systèmes urbains. D'autre part, l'utilisation de méthodologies différentes offre l'opportunité d'une intéressante imbrication des constats propres aux analyses de vulnérabilité à plusieurs d'échelles et d'une plus grande cohérence dans la caractérisation globale de la vulnérabilité urbaine dont la portée initialement sectorielle devient systémique.
- 6 Dans une première partie, cet article traite de la lecture de la vulnérabilité au travers de plusieurs exemples de couples « échelle spatiale-méthodologie d'étude » (figure 1) : à une échelle micro, la modélisation fonctionnelle est appliquée au système de transport en tant qu'exemple de système technique urbain, à une échelle macro, la vulnérabilité est étudiée au travers d'une lecture organisationnelle de la gestion des risques à différents

niveaux de gouvernance et, entre ces deux premières, à une échelle méso, le métabolisme urbain offre une compréhension de la vulnérabilité au travers l'analyse des flux techniques urbains.

- 7 Puis, dans un second temps, la cohérence permise par ces trois échelles spatiales en termes d'analyse de la vulnérabilité est approfondie par le biais des interactions entre elles. Ces interactions sont appréhendées par les flux sociotechniques échangés entre échelles. L'hypothèse faite dans cette recherche considère que l'objet « flux » caractérise en effet les interactions, connecte les échelles spatiales et est le maillon interscalaire qui permet alors d'approcher la vulnérabilité urbaine de façon systémique. La vulnérabilité systémique est appréhendée lorsque les systèmes urbains sont en situation de crise, c'est-à-dire lorsqu'ils sont soumis à un risque d'origine naturelle, technologique, sanitaire ou sociale. Ainsi, la vulnérabilité globale d'un territoire est vue comme un ensemble de vulnérabilités spécifiques, sectorielles et à une échelle donnée dont la cohérence systémique se détermine par les flux échangés entre chacune de ces échelles.

Figure 1. Échelles spatiales et méthodologies d'analyse de la vulnérabilité



## 1. Vulnérabilités sectorielles, échelles spatiales et approches méthodologiques

- 8 Cette partie présente les méthodologies d'analyse de vulnérabilité et leurs applications respectives sur des systèmes urbains caractérisés notamment par une échelle spatiale et une complexité qui leur est inhérente. La notion de complexité est, en effet, indissociable de ces objets dans la mesure où les systèmes urbains sont des ensembles d'éléments en interaction dynamique et organisés en fonction d'un but [De Rosnay, 1975]. La complexité est d'ailleurs si prégnante que la recherche scientifique tend à s'intéresser, non plus à la

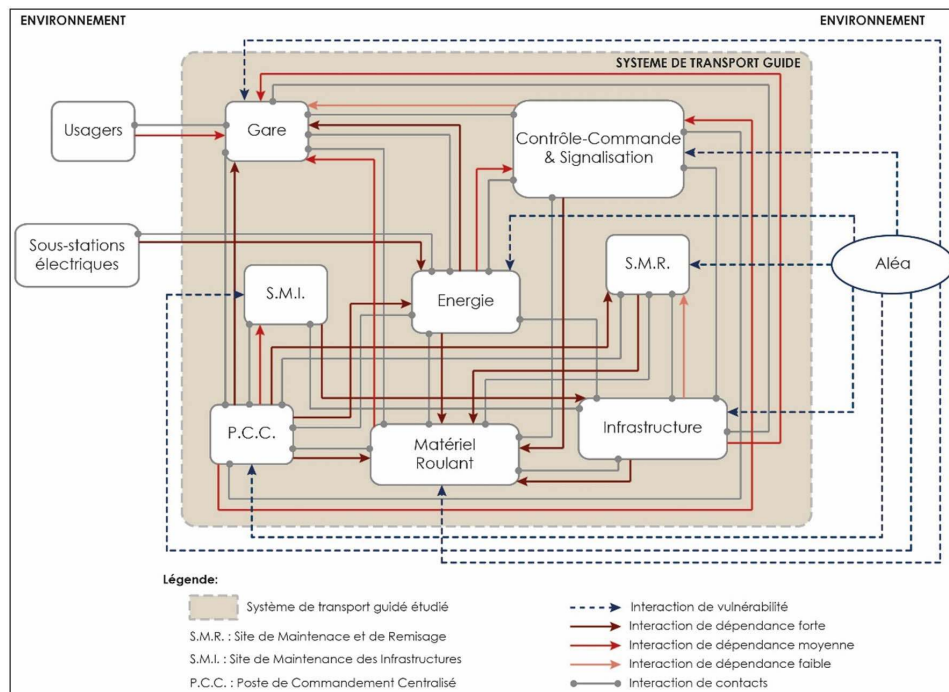
modélisation de systèmes complexes [Le Moigne, 1999], mais à celle de systèmes interdépendants [Kröger, 2008].

## 1.1. Vulnérabilité technique et approche fonctionnelle

- 9 La première échelle adoptée pour caractériser la vulnérabilité est liée à celle des systèmes techniques urbains. En effet, cette échelle urbaine, considérée ici comme micro, est pertinente pour étudier la vulnérabilité car elle renvoie à celle d'infrastructure urbaine dite critique, essentielle ou vitale. Bien qu'il n'existe pas de définition acceptée unanimement de cette notion [Bouchon, 2011], ce type d'infrastructures correspond généralement aux installations physiques, systèmes ou éléments de ces systèmes, essentiels au maintien des fonctions vitales de la société, de la santé, de la sécurité et du bien-être économique et social de la population et dont l'arrêt ou la destruction pourraient avoir des conséquences significatives en raison de l'incapacité à maintenir ces fonctions [CE, 2008]. Parmi ces installations se trouvent les systèmes de transport, public ou de marchandises, identifiés comme critiques par de nombreuses institutions internationales [DHS, 2006 ; PSC, 2009 ; CE, 2008]. Les systèmes de transport guidé urbain concernent plus exactement [CERTU, 2007] : les métros, en site propre intégral, en conduite manuelle ou automatique ; les tramways, caractérisés par des véhicules ferroviaires qui circulent majoritairement sur la voirie urbaine ; les systèmes guidés sur pneus, caractérisés par un roulement sur pneus et un guidage par rail central, par caméra ou magnétique. Or, de nombreuses études internationales ont déjà démontré les effets sur ces systèmes de conditions météorologiques intenses et de forte exploitation dans des zones denses, notamment urbaines [EWENT project, 2011 ; MOWE-IT project, 2014]. Ces aléas naturels et d'exploitation sont en effet régulièrement la source d'incidents qui impactent l'exploitation de ces systèmes techniques. Ainsi, l'analyse de la vulnérabilité de ces systèmes face à des événements tels que des aléas naturels, technologiques ou liés à leur exploitation apparaît comme opportune pour appréhender la vulnérabilité urbaine à une échelle micro.
- 10 Pour réaliser cette analyse, le choix s'est porté sur une méthode issue de la sûreté de fonctionnement. Ces méthodes ont été développées à l'origine pour étudier des systèmes industriels au fonctionnement complexe [Villemeur, 1997]. Or, depuis quelques années, des travaux de recherche appliqués dans le domaine du génie urbain mobilisent ces méthodes pour l'étude du fonctionnement de systèmes techniques [Gonzva *et al.*, 2015] car ces derniers sont de plus en plus complexes, interconnectés les uns aux autres et avec un fonctionnement évolutif dans le temps. Parmi ces méthodes, l'analyse fonctionnelle est employée. Elle permet, en effet, de modéliser le fonctionnement de systèmes à partir de deux analyses dépendantes : une analyse structurelle et une analyse fonctionnelle. L'analyse structurelle permet de définir les relations existantes entre les composants du système pour formuler, dans l'analyse fonctionnelle, les fonctions assurées par chaque composant. Dans notre cas d'étude, le système de transport se divise en huit sous-systèmes interagissant avec deux éléments de l'environnement. Ces sous-systèmes et éléments présentent plusieurs types d'interactions : des interactions de contact, correspondant à une connexion physique, matérielle entre deux éléments et des interactions de dépendance indiquant qu'une fonction entre deux éléments ne peut se réaliser que dans la mesure où le premier élément fonctionne. Ces interactions existent lorsque le système est exploité en mode nominal, en situation normale. Or, d'autres

interactions apparaissent lorsque le système est en situation de crise, c'est-à-dire lorsque survient un aléa. En effet, des interactions se créent entre l'aléa et les sous-systèmes, caractérisant la vulnérabilité de ces derniers. Finalement, un Bloc-diagramme Fonctionnel est dressé pour représenter cette modélisation du système et mettre en avant les interactions de contact, de vulnérabilité et de dépendance faible, moyenne ou forte (figure 2).

Figure 2. Bloc-diagramme Fonctionnel du système de transport guidé



Gonzva *et al.*, 2014.

- 11 Plusieurs conclusions peuvent être tirées de cette étude. Premièrement, elle permet d'établir toutes les interactions qui existent entre l'ensemble des éléments du système. Cette analyse caractérise alors la nature des flux entre les éléments ; certains d'entre eux sont, par exemple, des flux de dépendances critiques lorsque le système est en situation de crise. Deuxièmement, l'analyse fonctionnelle permet de caractériser la vulnérabilité du système de transport car elle rend possible la modélisation du fonctionnement du système lors de l'occurrence d'un aléa. Néanmoins, cette caractérisation porte spécifiquement sur une vulnérabilité du système que l'on peut qualifier assurément de technique dans la mesure où elle n'aborde pas, par exemple, des aspects organisationnels et géographiques de gestion de la crise ou encore de mobilisation de ressources avant ou à la suite de l'aléa.
- 12 Ainsi, la sûreté de fonctionnement au travers de la méthode de l'analyse fonctionnelle permet d'interroger la vulnérabilité urbaine sous un angle technique et à une échelle micro.

## 1.2. Vulnérabilité organisationnelle et approche par la gestion des ressources

- 13 L'urbanisation s'appuie et s'autoalimente, entre autres, sur le pouvoir organisateur des systèmes techniques si bien que ceux-ci sont difficilement dissociables les uns par rapport aux autres et que leur prise en compte est indispensable à l'étude du système urbain dans son entièreté. Tout du moins, il s'agirait de considérer le système urbain comme décomposable en un ensemble de sous-systèmes dont l'existence résiderait dans les interactions qu'ils entretiennent entre eux et avec l'environnement [Dupuy, 1984]. Dans la mesure où ils relèvent des ou de la technique, ces systèmes se définissent comme des ensembles particuliers de procédés ou de moyens mis en place par l'homme afin d'obtenir un résultat déterminé ou pour satisfaire ses besoins. Ils appartiennent nécessairement :
- à des univers urbains où les sociétés humaines manipulent et dépendent étroitement de ces systèmes techniques qu'elles mettent en place tant pour la circulation des données, des personnes et des biens que pour des services de premières nécessités tels que l'électricité ou encore l'eau ;
  - à des contextes qui concentrent et permettent tout autant des activités politiques, économiques et sociales dont les changements ou variations sont propres aux dynamiques de peuplement qui les composent ;
  - à des structures urbaines diverses dont la particularité réside dans leur caractère spatial et territorial.
- 14 Dans l'optique de considérer tant l'environnement – physique ou naturel – que le contexte – social ou culturel – dans lesquels évolue le système urbain, il peut être appréhendé sous la forme d'un système sociotechnique, lui-même composé de sous-systèmes (socio)techniques. Cette approche offre l'opportunité de questionner les objets techniques de l'urbain à travers les organisations sociales et les représentations qu'elles possèdent de ceux-ci et de leurs environnements [Akrich, 1989].
- 15 À travers cette seconde méthode, il s'agirait donc d'étudier un système sociotechnique qui constitue et emmagasine des connaissances, des compétences par le biais de l'empirisme ou de la théorie et ce, à différentes échelles territoriales. Effectivement, depuis les échelles micro-locales, prenant en compte le quartier ou bien même l'ilot, jusqu'à l'échelle métropolitaine, en passant par des découpages intermédiaires comme la commune ou la communauté de communes, on assiste à une accumulation de logiques individuelles ou collectives, spontanées ou au contraire préalablement établies qui conduisent les comportements, orientent et priorisent les actions. Des logiques dont les fondements reposent sur les perceptions et les représentations que les acteurs de l'urbain ont de ce milieu et qui s'alimentent en continu par leurs évolutions. De surcroît, ces acteurs sont multiples et leurs nécessités ou leurs ambitions hétérogènes entrent parfois en compétition voire en conflit qu'il s'agisse, entre autres, d'enjeux de développement ou de ressources. Des relations entre acteurs qui peuvent se voir d'autant plus exacerbées si une situation d'urgence venait à se produire [Robert et D'Ercole, 2014]. Afin d'étudier la vulnérabilité sociétale, le choix qui est pris ici est d'appréhender le risque par le biais de ces dynamiques tant en temps « ordinaire » qu'en période de crise. Ce travail permet alors la prise en compte des usages, de la gestion de l'espace et des politiques publiques particulièrement celles qui traitent de gestion des risques. L'angle d'approche emprunté



est celui de la question des espaces nécessaires à la gestion de crise et de leurs usages en temps dit normal.

- 16 Le sol, support des activités humaines, est une ressource fortement convoitée en milieu urbain. Du fait de sa rareté mais aussi dans ses usages, il l'est d'autant plus lorsque qu'il est non-bâti, qu'il ne porte aucun édifice, voire public, prenant alors de multiples formes autant physique (voirie, parc, place) que sociales (lieux d'échanges, de rencontre ou de revendication). Projeté en période d'urgence ce sont ces espaces dénués de construction qui sont généralement fortement sollicités. Ici les dimensions spatiales de la gestion de crise se concrétisent à travers les notions d'espaces à secourir, qui ont subi des dommages et des espaces supports ou qui détiennent les ressources nécessaires à l'organisation et à la mise en place des activités d'urgence [D'Ercole et al. 2012]. En effet, de nombreuses catastrophes passées nous enseignent qu'une mutation de l'occupation du sol s'opère suite à un événement majeur, ils deviennent alors les lieux privilégiés de la gestion de crises et des activités d'urgence telles que l'organisation des secours, l'installation de l'aide humanitaire, d'hôpitaux de campagne, d'hébergement temporaire de distribution de denrées de premières nécessités ou encore de soins. Cependant, la question ne fut jamais abordée de front avant les travaux de Robert et D'Ercole [2014].
- 17 Une telle approche permet d'établir une description physique de l'objet d'étude pour ensuite l'intégrer dans son contexte englobant les jeux d'acteurs. La projection en situation de crise permet d'imaginer l'évolution des usages auxquels il peut être soumis durant les interventions d'urgence. Ainsi, il peut être mis en lumière les divergences de représentations qu'ont les acteurs, celles-ci pouvant être sources de difficultés dans l'organisation des secours. La gestion de crise pouvant être considérée comme la mise en relation entre les espaces à secourir et ceux pouvant être supports ou ressources [D'Ercole et al. 2012], il paraît pertinent de les identifier et de les caractériser préalablement à un événement afin d'organiser et d'optimiser la gestion de crise. Cependant, cette approche centrée sur les espaces de gestion, et sur un temps précis du risque qu'est la gestion de crise, ne permet pas de prendre en compte les interactions qui existent entre les différentes ressources nécessaires aux interventions d'urgence, pouvant elles-aussi être source de dysfonctionnement dans l'organisation. Ainsi, cette approche fondamentalement basée sur une lecture des organisations dans un contexte de crise permet d'interroger la vulnérabilité urbaine sous un angle lié à la gestion des ressources et à leur gouvernance et ce, à une échelle macro.

### 1.3. Vulnérabilité des flux et approche par le métabolisme urbain

- 18 La troisième échelle choisie pour approcher la vulnérabilité tend à introduire un maillon entre les deux approches précédentes. Elle traite d'une échelle intermédiaire. Il s'agit de l'échelle quartier, dénommée ici l'échelle méso, selon une démarche globale, en entrant par l'ensemble du système urbain, de façon à englober à la fois ses dimensions techniques et ses dimensions sociales. Pour ce faire, l'approche retenue est celle du métabolisme urbain, qui présente l'avantage de questionner les flux, tout en tenant compte de la complexité immanente d'un système urbain.
- 19 Les flux présentent la particularité de décrire l'urbain d'un point de vue dynamique et de caractériser le fonctionnement du système urbain dans son ensemble. Les flux observés dans cet article s'appuient sur une infrastructure technique urbaine et ils sont régulés, contrôlés, plus ou moins maîtrisés par une ou des autorités techniques et sociales. Il est



important de préciser qu'ils ne désignent pas l'infrastructure technique urbaine en elle-même. Le flux est dépendant d'un système technique urbain, car ce dernier le génère ; mais il s'agit d'un élément à part entière qui désigne un faisceau en mouvement de matières, d'énergie, de biens ou de personnes. Dans cet article, les flux concernent les transports (routiers, ferroviaires, voies piétonnes et cyclables), l'énergie (gaz, électricité, chauffage urbain), les déchets, l'eau (potable, pluviale et assainissement) et les télécommunications (téléphonie, télévision, internet). Ils traitent à la fois du visible et de l'invisible. Le transport est un flux singulier et abordé dans cet article pour deux raisons. D'abord, il permet l'accroissement de la mobilité des populations et des marchandises à partir d'un réseau physique, plus ou moins maillé, au sein d'un territoire. Puis, en situation de crise, la question de l'accès des secours, de l'évacuation ou non des populations et de l'approvisionnement en ressources premières sont primordiales, corrélées et demandent parfois une capacité d'endurance permise par un réseau de transport urbain efficace.

- 20 L'expression « métabolisme urbain » opère un rapprochement étymologique entre la ville et le vivant. D'un point de vue scientifique, il s'agit d'une méthode qui se construit par analogie avec le métabolisme d'un organisme. Appliqué à un espace urbain, il est alors entendu comme « l'ensemble des transformations et des flux de matières et d'énergie intervenant dans le cycle de vie d'une zone urbaine » [Guyonnaud et Berlan 2009]. Il permet de regarder la ville à travers sa matérialité et ses activités productives [Barles, 2007], de façon à caractériser la pression exercée par les modes des vies sur l'environnement. En période de crise, le métabolisme urbain se trouve perturbé, de même que les éléments qui y entrent et qui en sortent. L'ensemble de la zone urbaine métabolique subit l'agression de l'aléa, ce qui peut générer des dysfonctionnements majeurs et permanents. Les flux peuvent être coupés partiellement ou totalement, en raison notamment des perturbations des réseaux techniques urbains et/ou sur décision des autorités techniques et sociales qui exploitent ou gèrent ces réseaux. Dans cette recherche, le métabolisme urbain n'est pas utilisé comme un outil mais bien comme une méthode de lecture des flux. Ces flux sont considérés dans cette recherche au travers de leurs dimensions techniques et sociales, caractérisés par des considérations matérielles et fonctionnelles et font abstraction des autres dimensions urbaines – culturelle, architecturale, environnementale, économique... Deux axes de travail sont alors possibles : le premier consiste à examiner la circularité des flux à travers un système au moyen d'un bilan de matières brutes et d'énergie, le second porte sur les flux comme caractérisant les interactions existantes ou possibles entre les objets au sein du système urbain. De ces façons, le flux devient un instrument de mesure, il est un objet neutre, élémentaire de lecture, documentant les besoins et les consommations en termes de ressources du système. De plus, dans cette recherche, il présente au minimum un lien avec un élément du système technique urbain, soit l'échelle micro et, il implique au minimum un groupe d'acteurs, soit l'échelle macro. Il a la particularité de parcourir et de s'inscrire, selon une intensité plus ou moins forte, au sein des trois échelles : micro, méso et macro. Il offre la possibilité de dépasser les approches sectorielles pour se diriger vers une approche plus systémique, considérée comme pertinente dans les études de vulnérabilité urbaine. En effet, chaque échelle de vulnérabilité expose ses spécificités. Or, l'analyse sectorielle est limitée, d'où un besoin d'ouvrir sur des approches innovantes à caractère systémique. Le métabolisme urbain et la lecture par les flux s'inscrivent dans cette logique. Par l'intermédiaire des flux, de leurs circularités et de leurs synergies, le métabolisme urbain aborde la question du fonctionnement et du potentiel

dysfonctionnement d'un espace urbain. Les flux sont donc vus comme un point d'entrée pour l'analyse de la vulnérabilité urbaine.

- 21 La présentation des méthodologies d'analyse de vulnérabilité, et de leur application respective sur des systèmes urbains caractérisés par une échelle spatiale particulière, révèle un premier élément commun à savoir la complexité inhérente à chaque couple « méthode-échelle » (tableau 1). En réalité, la notion de complexité est indissociable de ces objets dans la mesure où les systèmes urbains sont des ensembles d'éléments, en interaction dynamique et organisés en fonction d'un but [De Rosnay, 1975]. La complexité est d'ailleurs tellement prégnante que la recherche scientifique tend à s'intéresser non plus à la modélisation de systèmes complexes [Le Moigne, 1999] mais à celle de systèmes interdépendants [Kröger, 2008]. Ce constat induit en quelque sorte que chaque démarche d'analyse de vulnérabilité décrite ci-dessus a besoin de dépasser l'approche sectorielle pour envisager une vision systémique et transversale. En outre, ce constat conforte le besoin d'examiner les interactions entre ces trois niveaux spatiaux.

Tableau 1. Tableau récapitulatif des méthodes d'approche mobilisées pour l'analyse de la vulnérabilité

<i>Approche méthodologiques</i>	<i>Échelles</i>	<i>Objet</i>	<i>Bilan et moyen de caractérisation de la vulnérabilité</i>
<i>Sûreté de fonctionnement - analyse fonctionnelle</i>	<i>Micro</i>	<i>L'infrastructure urbaine critique, à savoir le système de transport public ou de marchandises</i>	<i>Complexité Bloc diagramme fonctionnel</i>
	<i>Échelle du système technique urbain</i>		
<i>Métabolisme urbain</i>	<i>Méso</i>	<i>Les flux de transports, d'énergie, de déchets, d'eau et de télécommunications</i>	<i>Complexité Caractériser le fonctionnement urbain</i>
	<i>Échelle intermédiaire : « le bout de ville »</i>		
<i>Lecture des organisations sociales</i>	<i>Macro</i>	<i>Espaces nécessaires à la gestion de crise et leurs usages.</i>	<i>Complexité Gestion des ressources et gouvernance</i>
	<i>Échelle relative aux structures de peuplement</i>		

## 2. Vulnérabilité systémique, interscalarité et flux

### 2.1. Apport de la démarche systémique

- 22 L'objet de cette seconde partie consiste à réunir les constats et résultats relatifs à la vulnérabilité urbaine obtenus à partir de méthodologies distinctes d'une part et à des échelles spatiales différentes d'autre part.
- 23 Ce besoin de lien apparaît car ces méthodologies fournissent, à une échelle spatiale fixée, une caractérisation sectorielle de la vulnérabilité. En effet, les résultats, qu'ils soient obtenus par une analyse des fonctions, du métabolisme ou des organisations dans une

situation de crise caractérisent une vulnérabilité sectorielle, scalaire et statique : la vulnérabilité technique, la vulnérabilité métabolique ou encore la vulnérabilité organisationnelle. Ces démarches ont permis l'appréhension de la même vulnérabilité urbaine mais selon une granulométrie plus ou moins fine ; cette dernière étant en adéquation pertinente avec les périmètres observés. En effet, l'ensemble des objets étudiés décrit des états ponctuels de vulnérabilité et, prises séparément, leurs méthodologies respectives soulignent les lacunes qu'elles montrent lorsqu'il s'agit de décrire la vulnérabilité urbaine dans sa globalité. La nature du flux et les effets induits entre les échelles font qu'elles ne peuvent se désolidariser. Les regarder simultanément mais sous des angles différents permet de les compléter et d'approcher ainsi une description complète de la vulnérabilité urbaine. Bien qu'il soit nécessaire de la caractériser en tant qu'état et à une granularité spatiale fixée afin de donner un aperçu d'un degré de vulnérabilité à un instant donné face à une situation donnée, il l'est tout autant de la préciser en tant que processus transversal à des échelles spatiales imbriquées. Les systèmes urbains, et a fortiori la ville, présentent des interactions dynamiques en leur sein et entre eux ; par exemple, les systèmes de transport urbain créent des flux de mobilité en connectant notamment des quartiers et sont gérés, exploités, dirigés par des organisations inscrites sur des territorialités multiples. Dans des situations de crise, ces processus dynamiques qui trouvent en particulier leur origine dans les interactions entre échelles induisent une part de vulnérabilité. Dès lors, la vulnérabilité possède inévitablement une caractéristique multiscalaire, multidimensionnelle et résulte alors d'un processus multifactoriel. La vulnérabilité urbaine doit donc s'orienter vers une approche plus intégratrice et systémique.

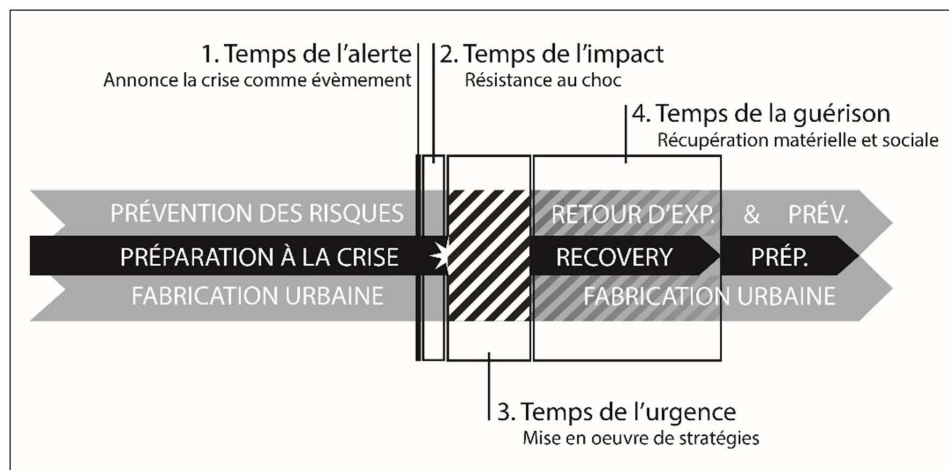
## 2.2. Intérêt des flux : élémentaires et révélateurs des dysfonctions

- 24 Dans cette recherche, le choix du flux tient du fait qu'il revêt un caractère a-spatial. Bien qu'il soit toujours possible de caractériser l'échelle spatiale voire territoriale d'une infrastructure technique dont le rôle est de supporter, transporter, distribuer un flux, il n'existe pas d'échelle de flux à proprement parler. Le flux circule entre une multitude d'objets urbains au sein desquels il est consommé, rejeté, transformé. Chacun de ces objets urbains pouvant d'ailleurs appartenir à des échelles spatiales différentes. Par exemple, le réseau électrique, support du flux électrique, s'étend sur plusieurs échelles spatiales ; les centrales électriques qui produisent l'électricité ont une portée nationale ou régionale, les postes sources qui permettent ensuite à l'électricité d'être acheminée vers le réseau de distribution sont régionaux ou départementaux, le réseau de distribution urbain assure enfin l'alimentation électrique nécessaire aux activités économiques et aux particuliers. Ainsi, les flux permettent de rapprocher l'aspect spatial des éléments du système urbain, et de regarder de manière transversale, voire de combiner, ce qui se produit à chaque échelle. Les flux sont alors le liant interscalaire, la matrice systémique qui héberge et génère les interactions entre les systèmes techniques urbains.
- 25 De plus, l'intérêt des flux provient du fait qu'ils sont particulièrement révélateurs de dysfonctionnement de systèmes urbains lors de situations de crise, et ce pour toutes les échelles. Lors d'une crise, qu'elle soit due à un risque d'origine naturelle, technologique, sanitaire ou encore sociale, les flux, ou plutôt leur circulation peuvent se trouver dégradée, réduite voire interrompue. Le moment à partir duquel la circulation des flux

commence à être dégradée fournit également des informations quant à l'entrée en crise du système et de ses composants, à la durée de la crise, à la mise en route des actions d'urgence et au retour à une situation dite normale. Leur observation permet la caractérisation des phases de la crise et ainsi des temporalités des risques (Figure 3) et, elle fait le relai entre les organisations et les systèmes fonctionnels, soit entre les échelles macro et micro. Bien qu'a-spatial, le flux présente alors une dimension temporelle immanente et interscalaire. Ces deux dimensions en font un indicateur pertinent pour la détection et la mesure qualitative et quantitative de la vulnérabilité.

- 26 Enfin, en temps de crise, les flux échangés via les interactions entre échelles spatiales apparaissent essentiels à maintenir. La capacité d'un système de transport à évacuer rapidement une ville peut être en effet essentielle pour la sécurité publique en cas d'événements tels que des catastrophes naturelles [OCDE, 2010] ; l'évacuation déficiente de la Nouvelle-Orléans lors de l'ouragan Katrina en 2005 l'a prouvé. Les interactions entre certains systèmes urbains au niveau micro et leurs autorités organisatrices au niveau macro sont donc essentielles à maintenir en situation de crise. Les flux échangés au sein d'une échelle spatiale semblent tout autant essentiels à maintenir, cette fois durant la phase de guérison (figure 3). En effet, la remise en état rapide des réseaux de transport public, au sens de l'infrastructure matérielle elle-même, autorise un retour à un fonctionnement normal de la ville en rétablissant l'insertion du système touché dans les systèmes englobants [Djament-Tran, 2015] de niveau méso et macro. Ainsi, la vulnérabilité urbaine trouve son origine à la fois dans les flux sectoriels et dans les flux systémiques bien que, paradoxalement, la conservation des flux de type systémique possède également un intérêt dans le retour à un fonctionnement urbain dit normal.

- 27 Figure 3. Temporalités des risques et des crises



Inspiré de Reghezza-Zitt, [2013] et Dauphiné et Provitolo [2013].

### 2.3. Limites des flux sociotechniques dans l'étude des interactions interscalaires

- 28 Cette recherche et les hypothèses faites pour mener une analyse de vulnérabilité sectorielle et mutliscaire d'une part, et systémique et transscalaire d'autre part, possèdent certaines limites théoriques et pratiques.

- 29 Premièrement, les interactions qui existent entre les échelles spatiales prennent des formes diverses et sont liées à des réalités techniques, sociales, économiques, environnementales, culturelles ou encore institutionnelles. Néanmoins, les dimensions sociales et techniques des flux qui sont retenus dans cette recherche sont significativement représentatives des composantes du système urbain dont l'endommagement ou la perturbation affecterait particulièrement son fonctionnement global ; les réseaux techniques urbains sont, en ce sens, considérés comme la « porte d'entrée » de l'aléa, car source initiale de danger, et la « porte d'entrée » du risque, comme l'ensemble des perturbations et des dommages [Serre, 2015]. Ainsi, bien que les flux interscalaires soient restreints à des dimensions seulement sociotechniques, cette abstraction est pertinente et justifiée.
- 30 Deuxièmement, les flux sont considérés comme a-spatiaux, c'est-à-dire non liés à une échelle spatiale particulière. Cette hypothèse trouve son sens dans le fait que ceux-ci circulent entre un grand nombre d'objets urbains au sein desquels ils sont consommés, rejetés, transformés. Or, il apparaît complexe de détacher totalement les flux de toutes considérations spatiales car les infrastructures qui les supportent, les transportent et les distribuent sont, elles, spatialisées voire même territorialisées. Dès lors, considérer les flux de mobilité, d'alimentation en électricité ou encore en eau potable comme des éléments indépendants de tout fait spatial est, de fait, partiellement faux. Il n'en reste pas moins vrai que les flux traversent plusieurs échelles spatiales urbaines et interurbaines sans être véritablement associés à une et une seule.

## Conclusion

- 31 Cet article aborde la vulnérabilité urbaine au travers de plusieurs systèmes urbains et plusieurs échelles spatiales imbriqués. Les deux postulats faits dans cette recherche sont validés.
- 32 Premièrement, il est possible d'appréhender la vulnérabilité urbaine à différents niveaux scalaires dès lors que sont mobilisées plusieurs méthodologies d'analyse du fonctionnement et de l'organisation des systèmes urbains. La modélisation fonctionnelle, la modélisation métabolique et la modélisation organisationnelle ont permis à une échelle respectivement micro, méso et macro d'approcher la vulnérabilité urbaine. Plus précisément, à une échelle micro, la modélisation fonctionnelle est appliquée au système de transport public ; à une échelle méso, le métabolisme urbain permet une compréhension de la vulnérabilité via l'analyse des flux urbains ; à une échelle macro, la vulnérabilité est étudiée grâce à une lecture organisationnelle de la gestion des risques depuis des actions locales jusqu'à des politiques régionales articulées entre elles. Ces méthodologies aboutissent ainsi à une compréhension sectorielle, exprimée à une échelle spatiale fixée et décrivant un état, statique, de vulnérabilité. Or, la vulnérabilité d'une ville face à un risque, qu'il soit naturel, technologique, sanitaire ou social, ne peut se résumer à la somme des vulnérabilités des systèmes qui la composent et nécessite une approche intégrée permettant de la considérer dans sa globalité. La démarche focalisée sur les interactions entre ces systèmes urbains grâce aux flux (sectoriels et systémiques) associés à des échelles spatiales complémentaires offre une vision transversale de la vulnérabilité urbaine. Elle se détache ainsi d'une lecture sectorielle et permet la compréhension d'un territoire dans son entièreté. Ce fait est l'objet du second postulat validé dans cette recherche.

- 33 L'application de plusieurs méthodologies offre l'opportunité d'une intéressante imbrication des résultats et constatations et d'une plus grande cohérence dans la caractérisation globale de la vulnérabilité urbaine à partir du moment où sont étudiées les interactions interscales. Ces interactions peuvent raisonnablement être examinées au travers des flux sociotechniques échangés entre les échelles spatiales. L'intérêt porté aux flux est triple :
- le flux est un maillon interscalaire, neutre, a-spatial, élémentaire et circulant entre une multitude d'objets urbains au sein desquels il est consommé, rejeté, transformé ;
  - lorsque la ville est en situation de crise, l'observation des flux est un bon indicateur :
    - du degré de dysfonctionnement des systèmes urbains car les flux sont alors plus ou moins dégradés, réduits ou interrompus ;
    - du moment où les systèmes urbains entrent en crise du système, de la durée de la crise et du retour à une situation normale, permettant donc de caractériser les phases de la crise et les temporalités des risques.
- 34 la lecture par le prisme du flux semble posséder un pouvoir organisateur de la gestion de crise dans le sens où elle permet la mise en relation entre les supports que sont les systèmes techniques et les nécessités exprimées par les sinistrés ou par les acteurs impliqués dans les opérations de secours.
- 35 Bien que pouvant être considéré raisonnablement comme a-spatial, le flux présente ainsi une dimension temporelle inhérente, ce qui en fait un indicateur pertinent pour la détection et la mesure qualitative et quantitative de la vulnérabilité. Ainsi, c'est au travers de l'étude des interactions entre échelles spatiales par le prisme des flux sociotechniques échangés que les analyses de vulnérabilité, jusque-là sectorielles, scalaires et décrivant un état, deviennent systémique, transscalaire et décrivant un processus.
- 36 Néanmoins, quelques limites peuvent être mentionnées à cette méthodologie permettant une lecture systémique de la vulnérabilité. D'une part, la restriction des interactions entre les différentes échelles spatiales à des flux de type uniquement sociotechnique pousse à faire l'impasse sur des interactions d'autres ordres et tout aussi essentielles au fonctionnement de la ville telles qu'économiques ou encore environnementales. D'autre part, considérer les flux comme des objets réellement sans attache spatiale est partiellement vrai car s'ils existent, circulent, sont acheminés et consommés, c'est bel et bien grâce à des infrastructures spatialisées voire territorialisées qui les supportent, les transportent et les distribuent.
- 37 Finalement, à partir de l'étude des vulnérabilités sectorielles des systèmes urbains et des interactions qui existent entre les échelles spatiales auxquelles ils sont associés, il est possible d'obtenir une lecture holistique, transversale, systémique de la vulnérabilité urbaine. Cette approche systémique de la vulnérabilité est d'autant plus importante qu'elle ouvre la voie à la résilience [Provitolo et Reghezza-Zitt, 2015]. Identifier une méthodologie ou des combinaisons de méthodologies à caractère systémique offrant des résultats complémentaires et cohérents entre eux établit un lien conceptuel d'actualité, à savoir celui de la mutation voire du bouleversement sémantique [Barroca et al., 2013] qui s'opère actuellement entre vulnérabilité et résilience.

---

## BIBLIOGRAPHIE

- AKRICH M., (1989), La construction d'un système socio-technique, *Anthropologie et sociétés*, Département d'anthropologie, Université Laval, vol. 13, n°2, pp.31-54.
- BARLES S., (2007), Le métabolisme parisien aujourd'hui. Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme, *Annales de la recherche urbaine*, n°103.
- BARROCA B., DI NARDO M., MBOUMOUA I. (2013), De la vulnérabilité à la résilience : mutation ou bouleversement ? *EchoGéo*, 24.
- BECERRA S., (2012), Vulnérabilité, risques et environnement : l'itinéraire chaotique d'un paradigme sociologique contemporain, *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, vol. 12, n°1.
- BIRKMANN J., (2006), *Measuring Vulnerability to Natural Hazards: Toward Disaster Resilient Societies*, United Nations University Press, Tokyo, New York. 527 p.
- BOUCHON S. (2011), *L'identification des infrastructures critiques : réflexion à partir de l'exemple européen*, Thèse de doctorat en Géographie. Université Paris Ouest Nanterre La Défense.
- CERTU (2007), *Panorama des villes à transports publics guidés*, 53 p.
- COMMISSION EUROPEENNE (2008). Directive 2008/114/CE du Conseil du 8 décembre 2008 concernant le recensement et la désignation des infrastructures critiques européennes ainsi que l'évaluation de la nécessité d'améliorer leur protection. *Journal officiel de l'Union européenne*, L 345/75, 23 décembre 2008.
- CUMMING G. S. (2011). *Spatial Resilience in Social-Ecological Systems*, Springer Netherlands, 254 p.
- D'ERCOLE R., HARDY S., METZGER P., ROBERT J., GLUSKI P. (2012), Les dimensions spatiales et territoriales de la gestion de crise à Lima, *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, vol.12, n°1.
- DAUPHINÉ A. (2001), Risques et catastrophes observer, spatialiser, comprendre, gérer, Editions A. Colin, Collection U. Géographie, Paris, 288 p.
- DAUPHINÉ A., PROVITOLLO D. (2013). *Risques et catastrophes. Observer, spatialiser, comprendre, gérer*, Armand Colin.
- DE ROSNAY J. (1975), *Le Macroscopie vers une vision globale*, Éditions du Seuil, Paris, 295 p.
- DHS (U.S. Department of Homeland Security) (2006), *National Infrastructure Protection Plan*.
- DJAMENT-TRAN G. (2015), La résilience, une question d'échelles », in dir. Reghezza-Zitt, M. et Rufat, S *Résilience, sociétés et territoires face à l'incertitude, aux risques et aux catastrophes*, Londres, ISTE Editions, pp. 61-79.
- DUPUY G. (1984). Villes, systèmes et réseaux : le rôle historique des techniques urbaines, *Réseaux*, vol.2, n°4, 1984. *Réseaux urbains*, pp. 3-23.
- EWENT project (Extreme Weather impacts on transport systems) (2010-2012). Funded by the 7th framework program of the European Commission, Directorate General for Research and Technical Development. Coordinated by Technical Research Centre of Finland (VTT).



GONZVA M., BALSELLS M., BARROCA B. (2015), Mobilisation de l'analyse fonctionnelle pour l'étude de la résilience des quartiers et des systèmes de transport guidé face au risque inondation ». *Techniques, Sciences, Méthodes*, n°7-8, pp. 64-75.

GONZVA M., GAUTIER P.-E., DIAB Y., BARROCA B. (2014), Résilience des systèmes de transport guidé face aux risques naturels, *Décider dans un monde incertain : enjeu majeur de la maîtrise des risques*, Congrès Lambda Mu 19, Dijon, France, 21-23 oct.

GUYONNAUD M.F., BERLAN M. (2009), Le métabolisme urbain, un outil de gestion durable, *Géosciences*, n°10, pp. 86-94.

KERVERN G.-Y., BOULENGER P. (2007). Cindyniques : concepts et mode d'emploi, *Economica*, Paris.

KRÖGER W. (2008), Critical infrastructures at risk: A need for a new conceptual approach and extended analytical tools, *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 93, n°12, pp. 1781-1787.

LE MOIGNE J.-L. (1999), *La modélisation des systèmes complexes*, Editions Dunod.

MOWE-IT project (Management of Weather Events In the Transport system) (2012-2014). Funded by the 7th framework program of the European Commission. Coordinated by Technical Research Centre of Finland (VTT).

OCDE (2010). *Améliorer la fiabilité des réseaux de transport de surface*, Editions OCDE.

PROVITOLLO D., REGHEZZA-ZITT M. (2015), Résilience et vulnérabilité : de l'opposition au continuum, in Reghezza-Zitt, M. et Rufat, S., *Résilience, sociétés et territoires face à l'incertitude, aux risques et aux catastrophes*, Londres, ISTE Editions, pp. 43-60.

PUBLIC SAFETY CANADA (PSC) (2009). National Strategy for Critical Infrastructure. ISBN: 978-1-100-11248-0.

REGHEZZA-ZITT M. (2013), Utiliser la polysémie de la résilience pour comprendre les différentes approches du risque et leur possible articulation, *EchoGéo* [En ligne], 24 | 2013, mis en ligne le 10 juillet 2013, consulté le 08 août 2016.

ROBERT J., D'ERCOLE R. (2014), L'occupation et l'utilisation du sol en période de crise, *Cybergeo : European Journal of Geography*.

SERRE D. (2015), Adapter les systèmes territoriaux à travers leurs composants : le cas des réseaux critiques, in Reghezza-Zitt, M. et Rufat, S., *Résilience, sociétés et territoires face à l'incertitude, aux risques et aux catastrophes*, Londres, ISTE Editions, pp. 109-121.

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

VILLEMEUR A. (1997), *Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels - Fiabilité, facteurs humains, informatisation*, Editions Eyrolles, Paris, 822 p.

## RÉSUMÉS

Malgré une littérature scientifique importante visant à définir ses tenants et aboutissants théoriques, le concept de vulnérabilité peine encore à formaliser une définition claire et englobante. L'objectif de cet article est d'offrir une analyse originale de la vulnérabilité urbaine selon différentes échelles spatiales : une échelle micro propre aux systèmes techniques urbains, une échelle méso définie par le quartier et une échelle macro représentée par les enjeux de gouvernance et d'organisation – et selon plusieurs méthodologies d'analyse du fonctionnement et de l'organisation des composants urbains. Par une lecture de la vulnérabilité au travers de

plusieurs exemples, il apparaît possible de prendre en compte la complexité de ce concept au travers des interactions entre les échelles spatiales fournissant à la vulnérabilité une portée systémique

Despite a plentiful scientific literature to define the theoretical aspects of the vulnerability, this concept still has difficulty in formalizing a single global definition. The objective of this paper is to offer an original analysis of the urban vulnerability according to various spatial scales and methodologies for studying the functioning and the organization of the urban components. Firstly, the vulnerability is studied at a micro-scale particularly adapted to urban technical systems. Secondly, the vulnerability is analyzed at a meso-scale defined at the neighbourhood level and, thirdly, at a macro-scale characterized by governance and organizational stakes. By an analysis of the vulnerability through several examples, the complexity of the concept principally through interactions between the spatial scales is taken into account. This analysis provides a systemic approach to the concept of vulnerability.

## INDEX

**Keywords :** urban metabolism, functional analysis, spatial scale, urban transport system, neighbourhood level, urban area level

**Mots-clés :** métabolisme urbain, analyse fonctionnelle, échelle spatiale, système de transport, quartier, territoire

## AUTEURS

### MAXIME DELAÎTRE

Doctorant

Université Paris-Est Marne-la-Vallée

Lab'Urba, Département Génie Urbain, Associé à l'IFEA et l'IRD, Lima, Pérou

6-8 av. Blaise Pascal, Bât. Lavoisier

Champs-sur-Marne

77455 Marne-la-Vallée CEDEX

maxime.delaitre@u-pem.fr

### MARYLINE DI NARDO

Doctorante

Université Paris-Est Marne-la-Vallée, Lab'Urba

Département Génie Urbain

6-8 av. Blaise Pascal

Bât. Lavoisier

Champs-sur-Marne

77455 Marne-la-Vallée CEDEX

maryline.dinardo@u-pem.fr

### MICHAËL GONZVA

Doctorant

Université Paris-Est Marne-la-Vallée, Lab'Urba

Département Génie Urbain

SYSTRA, Direction Innovation  
6-8 av. Blaise Pascal, Bât. Lavoisier  
Champs-sur-Marne  
77455 Marne-la-Vallée CEDEX  
michael.gonzva@u-pem.fr

### **BRUNO BARROCA**

Architecte, maître de conférences  
Université Paris-Est Marne-la-Vallée  
Lab'Urba  
Département Génie Urbain  
6-8 av. Blaise Pascal  
Bât. Lavoisier  
Champs-sur-Marne  
77455 Marne-la-Vallée CEDEX  
bruno.barroca@u-pem.fr

### **YOUSSEF DIAB**

Professeur des Universités, directeur scientifique  
Université Paris-Est Marne-la-Vallée  
Lab'Urba, Département Génie Urbain  
École des Ingénieurs de la Ville de Paris (EIVP)  
Université Paris-Est Marne-la-Vallée 6-8 av. Blaise Pascal, Bât. Lavoisier  
Champs-sur-Marne  
77455 Marne-la-Vallée CEDEX  
youssef.diab@u-pem.fr