



HAL
open science

La résilience des systèmes de transport : des défaillances par effet domino vers des stratégies d'exploitation dégradée

Michaël Gonzva, Pierre-Etienne Gautier, Bruno Barroca, Youssef Diab

► To cite this version:

Michaël Gonzva, Pierre-Etienne Gautier, Bruno Barroca, Youssef Diab. La résilience des systèmes de transport : des défaillances par effet domino vers des stratégies d'exploitation dégradée. *Résilience, vulnérabilité des territoires et génie urbain*, 2016, 978-2-85978-504-8. hal-01677500

HAL Id: hal-01677500

<https://hal.science/hal-01677500v1>

Submitted on 9 Jan 2018

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

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

La résilience des systèmes de transport : des défaillances par effet domino vers des stratégies d'exploitation dégradée

Michaël Gonzva^{1,2}, Pierre-Étienne Gautier², Bruno Barroca¹, Youssef Diab^{1,3}

¹ Université Paris-Est Marne-la-Vallée, Département Génie Urbain, Lab'Urba.

² SYSTRA – Direction Innovation.

³ Université Paris-Est, École des Ingénieurs de la Ville de Paris.

1. Introduction

Concevoir un système technique en milieu urbain exige d'associer un ensemble d'enjeux toujours plus important en nombre et en catégorie et dont la coexistence est la principale source de complexité dans un projet. Cette situation est pleinement constatée dans le cas des systèmes de transport urbains. Les enjeux peuvent être liés au climat, source majeure de vulnérabilité de ces systèmes (EWENT project, MOWE-IT project, 2012). Ces enjeux sont d'ordre spatial et témoignent des conditions d'insertion des systèmes de transport sur un territoire donné : usage des sols, topographie, etc. Ces enjeux sont fonctionnels dans la mesure où le service fourni par le système de transport, essentiellement en termes de capacité, de vitesse commerciale et de qualité de service, satisfait aux besoins en mobilité d'un territoire.

Cet ensemble d'enjeux divers en qualité et en quantité sont, qui plus est, promis à une forte perspective d'amplification. D'une part, la croissance démographique mondiale laisse augurer que deux tiers des êtres humains vivront dans des zones urbaines d'ici 2050 (United Nations, 2014), en particulier dans les pays en développement. Le défi est alors de taille pour répondre aux besoins de mobilité croissants, urbains et interurbains, que va engendrer cette augmentation de la population mondiale car freiner la mobilité n'est pas une option (CE, 2011). D'autre part, le changement climatique, attribué aux activités anthropiques, semble posséder un rôle amplificateur sur les risques naturels ce qui oblige à devoir les réexaminer en fonction de cette nouvelle donne climatique (Quenault, 2013) : aléas plus intenses, plus fréquents et donc plus impactants. Ainsi, sans des adaptations structurelles et organisationnelles majeures, les évolutions climatiques présagées et les besoins en mobilité vont accroître la vulnérabilité déjà avérée des systèmes de transport face, notamment, aux aléas naturels. Dans ce contexte, le besoin en méthodologies novatrices d'analyse des risques qui affectent les systèmes techniques urbains apparaît indispensable à la fois pour caractériser les mécanismes, souvent complexes, de vulnérabilité provoquées par un risque naturel et pour identifier les mesures à mettre en place avant, pendant et après l'occurrence d'un aléa naturel afin de protéger les systèmes, limiter leurs dommages, et accélérer leur remise en fonctionnement. La recherche scientifique dans le domaine du génie urbain suit cette tendance avec un concept qui change la façon traditionnelle d'appréhender et d'analyser les risques, et de fait leur gestion, grâce une approche systémique : le concept de résilience. La résilience urbaine se définit comme « la capacité d'une ville à absorber une perturbation et à récupérer ses fonctions à la suite de celle-ci » (Lhomme *et al.*, 2010) et les réseaux techniques jouent un rôle essentiel dans son amélioration (Lhomme, 2012).

Cet article se propose d'analyser la résilience des systèmes de transport, comme cas spécifique de système technique urbain, face au risque d'inondation, comme exemple significatif d'aléa naturel affectant les espaces urbains. L'analyse est portée selon un double aspect ; d'une part, au travers des mécanismes de

défaillances spécifiques dus à des effets domino entre les éléments du système lorsqu'il est soumis à un risque d'inondation, et d'autre part, au travers de modes dégradés d'exploitation que ces mécanismes globaux impliquent pour le système en phase pré-crise, pendant et en post-crise. Ces trois étapes sont d'une importance égale pour assurer une meilleure conception des systèmes techniques.

2. Méthodologie de caractérisation de la vulnérabilité face au risque inondation

2.1. L'intérêt d'une méthodologie

La prise en compte de la vulnérabilité des réseaux indispensables au bon fonctionnement d'une ville n'est pas récente. Au début des années 2000, la vulnérabilité de ces réseaux vitaux est déjà considérée comme ayant été démultipliée en l'espace de dix ans et trouve des sources nouvelles dans des risques désormais à grande échelle, dont la nature même est confuse à appréhender (Michel-Kerjan, 2003). Bien que les principales causes de vulnérabilité et de son maintien dans la durée trouvent leur origine dans des processus économiques, démographiques et politiques¹ (Wisner *et al.*, 2003), les processus techniques au sein desquels des effets domino se produisent en sont aussi une source importante. En effet, les effets domino, de cascade ou boule de neige sont le fait d'un aléa déclencheur, le plus souvent d'origine naturelle ou technique, produisant des aléas dérivés de même nature ou de nature différente (Provitolo, 2005). Ces effets domino peuvent affecter une infrastructure puis les infrastructures qui en dépendent (Bouchon, 2011) ou rester internes lorsque les conséquences se diffusent au sein du réseau même (Michel-Kerjan, 2003). Les effets domino internes révèlent des mécanismes de défaillances en chaîne complexes, dynamiques et nombreux au sein du système et sont des processus pour lesquels les modèles sont rares. Ils obligent également à un saut scalaire dans la mesure où le risque ne peut plus se gérer à l'échelle de la zone d'aléa puisque les effets domino le diffusent, augmentant ainsi la taille de l'espace affecté par les effets induits de la perturbation initiale (Reghezza-Zitt, 2015). Ces effets domino sont fréquemment la cause d'importantes perturbations au sein des systèmes de transport lorsqu'ils sont affectés par des aléas naturels. Pour illustration, en 2000, un orage bref et intense de pluie mêlée de grêle est survenu sur la commune de Sarry dans l'Yonne et a entraîné d'importants ruissellements sur les infrastructures de la ligne à grande vitesse Sud-Est reliant Paris à Lyon. Le lit de cailloux qui supporte la voie de chemin de fer, le ballast, a alors été emporté sur une centaine de mètres à cause d'une défaillance des systèmes de drainage aux capacités insuffisantes et bouchés par des embâcles (Pams Capoccioni *et al.*, 2015). Les effets domino sont donc les suivants : l'aléa déclencheur, l'orage, est naturel et a conduit à un premier aléa dérivé qu'est la défaillance du drainage, puis à un second aléa dérivé correspondant à l'emportement du ballast et, enfin, à un dernier aléa dérivé d'ordre fonctionnel : l'interruption de la circulation au niveau de certaines gares pendant plusieurs heures. Le saut scalaire, caractéristique des perturbations dues à des effets domino, a alors fait de ce risque hydrologique perturbant le système à une échelle communale, un risque ayant des conséquences à l'échelle nationale (Figure 1).

¹ "The most important root causes that give rise to vulnerability (and which reproduce vulnerability over time) are economic, demographic and political processes". (p.52)

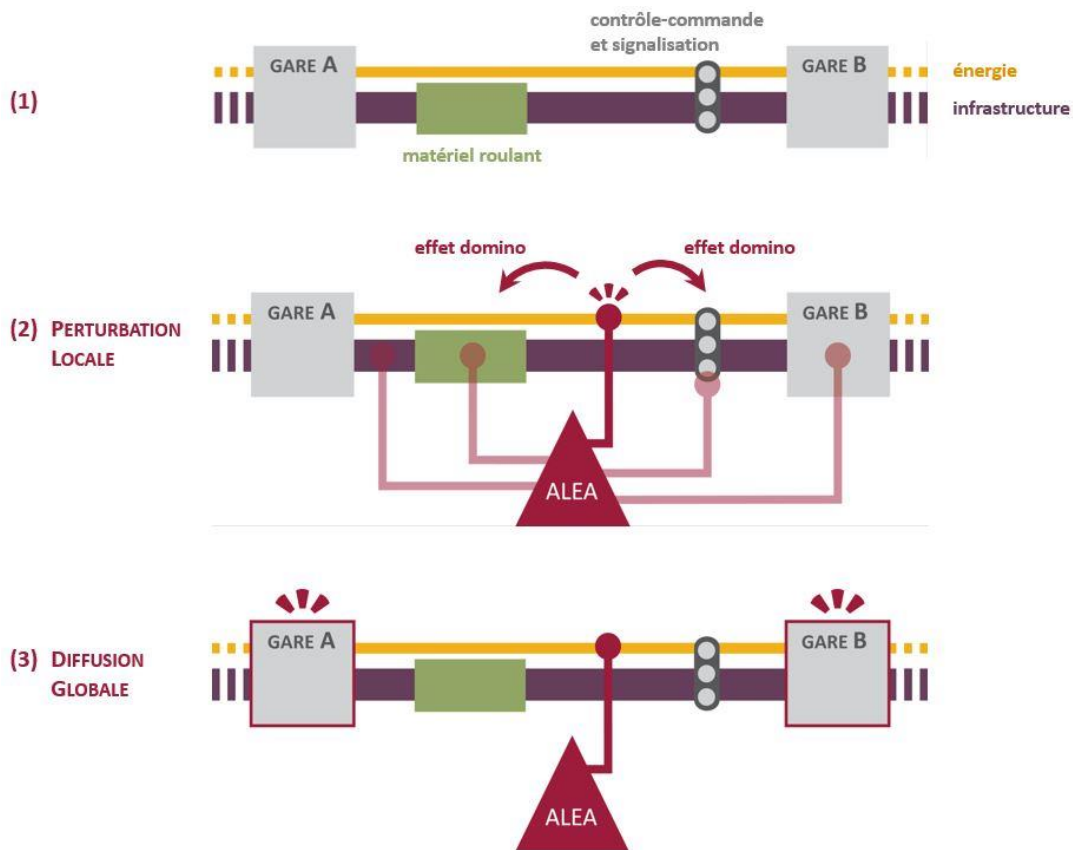


Figure 1 : Processus d'endommagement d'un système de transport par un aléa et propagation du risque à une échelle globale

2.2. L'élaboration théorique et opérationnelle

La méthodologie proposée part du postulat que les mécanismes internes de défaillances par effet domino jouent un rôle central dans la vulnérabilité des systèmes de transport face au risque inondation. Pour accroître la résilience de ces systèmes, et conséquemment la résilience urbaine, une modélisation de leur dynamique de défaillances est donc importante.

La méthodologie associe plusieurs techniques issues des concepts de la sûreté de fonctionnement complétée par l'élaboration d'un outil informatique qui permet la production exhaustive des chaînes de défaillances par effet domino des composants du système lorsqu'il est touché par une inondation (Figure 2).

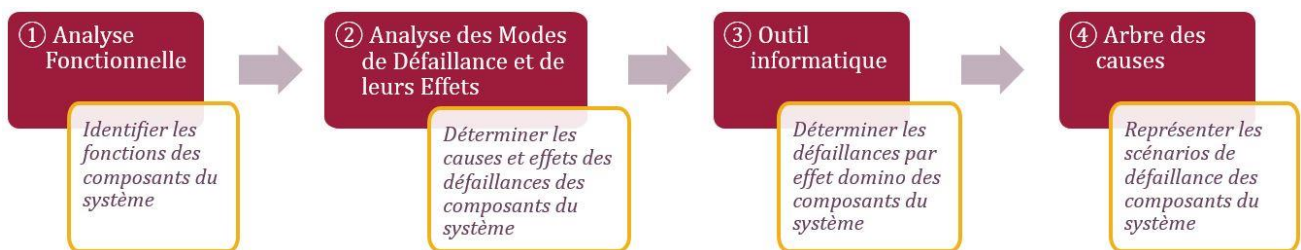


Figure 2 : Méthodologie de détermination des défaillances internes par effet domino

Trois profils de composants émergent en situation de risque, lorsque le système subit une inondation (Lhomme *et al.*, 2011). Certains composants ont un comportement agressif à l'égard du système dans le mesure où ils sont à l'origine d'un grand nombre d'effets domino, tandis que d'autres ont, à l'inverse, un profil qualifié de sensible car ils se trouvent majoritairement en bout de scénarios de défaillances. Un

troisième profil relatif à un comportement propagateur d'effets domino se dégage, caractérisant des composants intermédiaires, passerelles, qui dès lors qu'ils sont perturbés génèrent un grand nombre d'aléas dérivés.

Ces comportements fournis par le modèle représentent une information nouvelle et pertinente dans l'aide à la décision pour les gestionnaires et exploitants de systèmes de transport. En effet, une stratégie possible dans la conception peut être la protection des composants agressifs par surélévation, cloisonnement, ou de les doubler voire tripler au sein du système. De plus, une stratégie liée à l'exploitation peut consister à assurer un suivi accru de l'état des composants au profil propagateur pour prévenir leur dysfonctionnement en cas d'occurrence d'aléa inondation. Enfin, une autre stratégie envisageable, pour la maintenance, peut être de considérer les composants sensibles comme ayant une durée de vie particulièrement limitée et devant donc faire l'objet d'un remplacement plus fréquent que les autres éléments du système.

Ainsi, l'élaboration de modèles adaptés à plusieurs aléas et décrivant les mécanismes internes de propagation des effets domino sont primordiaux pour la gestion des risques car ils permettent non seulement d'améliorer la connaissance scientifique des catastrophes en replaçant celle-ci dans leur complexité mais aussi de produire une information nouvelle apportant une aide pour la prise de décision (Provitolo, 2005). Ces modèles théoriques ont une portée opérationnelle pour la conception de systèmes urbains plus résilients face aux risques naturels. Cette opérationnalisation des concepts théoriques issus de la résilience est également possible par les modes d'exploitation dégradés à mettre en œuvre.

3. Modes d'exploitation dégradées

La défaillance d'éléments, qu'ils soient des ressources utilisées, fournies par le système ou des composants propres au système, a des conséquences fonctionnelles c'est-à-dire qu'elle implique un mode d'exploitation dégradée par rapport au mode nominal. Ces conséquences conduisent à un endommagement fonctionnel du système ou d'une partie du système, sans pour autant d'ailleurs que celui-ci ait été endommagé matériellement (Meschinot de Richemond & Reghezza, 2010) : une ligne de transport devra suspendre son exploitation parce que la sous-station électrique qui lui fournit le courant est sous les eaux, sans que la ligne elle-même ne soit inondée.

Cependant, la notion de fonctionnement en mode dégradé nécessite d'être clairement définie tant en termes de dégradation qualitative que quantitative (Toubin, 2014) dans la mesure où elle peut prendre plusieurs formes. En effet, bien que les modes dégradés puissent être permis par l'existence d'un grand nombre de chemins alternatifs à l'itinéraire initial au sein d'un réseau de transport (Reghezza & Gleyze, 2007; Serre, 2015), ils sont loin de se limiter à cela. Un fonctionnement en mode dégradé se décline en fait en plusieurs modes dégradés potentiels sans être nécessairement portés par des alternatives matérielles ou infrastructurelles. Ils se rapprochent alors de la définition première du terme de dégradation, à savoir celle d'endommagement, de détérioration². Les modes dégradés à mettre en place sont par exemple fonctions de la criticité des composants défaillants. Un matériel roulant défaillant peut vraisemblablement être remplacé par un autre et ne provoquer qu'un simple retard alors qu'une infrastructure défaillante peut contraindre l'exploitant à interrompre la circulation. Ils sont aussi fonction de l'intensité de l'aléa ou encore de l'ampleur spatiale de la zone d'aléa. Ils peuvent également prendre plusieurs formes : une réduction de la vitesse d'exploitation, du nombre de stations desservies, du nombre de passagers qu'il est possible de transporter, ou peuvent concerner un ou plusieurs systèmes de transport dans le cas d'interconnexions. Certaines normes techniques imposent, par exemple, sur le réseau ferré national des

² Dégradé : qui a éprouvé une détérioration matérielle (Dictionnaire Littré, 2015).

limitations définies de vitesses selon la hauteur d'eau présente sur les voies (SNCF, 2004), d'autres se basent sur la hauteur pluviométrique horaire. Ces pratiques se retrouvent dans les procédures de gestion de risque de nombreux chemins de fer internationaux.

Dans une perspective de gestion territorialisée des risques, la définition de modes dégradés des systèmes de transport guidé³ a tout intérêt à s'appuyer sur l'existence des systèmes de transport non guidé. Durant l'ouragan Sandy en 2012 qui a frappé la côte est des Etats-Unis, la *Metropolitan Transportation Authority* (MTA) en charge de la gestion des transports publics dans la ville de New-York et son agglomération a mis en œuvre un réseau temporaire de navettes, les *bus-bridges*, de Brooklyn à Manhattan comme substituts des lignes de métros, inondées, pour traverser l'East River. La créativité des habitants a également permis de maintenir un haut niveau de mobilité par l'utilisation de vélos, de véhicules partagés ou encore de ferry (Kaufman *et al.*, 2012). La mobilisation de bus de substitution, de véhicules deux-roues ou encore la mise en place d'un dispositif de covoiturage sont autant de mesures qui permettent d'améliorer la résilience du transport public global sur un territoire vaste. Déterminer plusieurs modes dégradés possibles est même un atout essentiel dans la gestion de crise. En effet, la capacité de réaction des décideurs, gestionnaires comme exploitants, ne s'improvise pas ; la gestion de crise ne peut donc s'expérimenter en pleine crise (Michel-Kerjan, 2003). Par ailleurs, le déclenchement d'un mode dégradé peut être voulu, par exemple s'il est issu d'un choix de l'exploitant de dégrader le service afin de protéger le système avant la crise, ou imposé, par exemple lors de la défaillance de composants plutôt en phase de crise ou d'après crise. En 2012, la MTA a lancé son « *Hurricane plan* » qui comprend des mesures d'urgence spécifiques trois jours avant l'arrivée de Sandy et tous les services de métro, de bus et de trains de la ville ont été suspendus la veille. Ces mesures sont en partie issues de l'expérience de l'ouragan Irène, en 2011, qui avait montré que 12 heures sont nécessaires pour la fermeture du métro et 8 heures pour le réseau de bus (HCFDC, 2013). Cet exemple met, de plus, en évidence la dimension temporelle intrinsèque à tout mode dégradé. En effet, la définition et le déclenchement d'un mode dégradé intègrent le moment où il est déclenché par rapport aux temporalités de la crise et le temps pendant lequel celui-ci est actif. Les mécanismes temporels sont tout aussi importants pour déterminer l'autonomie des composants lorsqu'un composant ressource, c'est-à-dire un composant dont ils ont besoin pour fonctionner, est défaillant. La connaissance de l'inertie des composants est un élément important de la résilience du système afin de connaître à la fois la cinétique de propagation des défaillances par effet domino et la marge de manœuvre qu'a l'exploitant pour rétablir le fonctionnement de composants.

Enfin, le fonctionnement en mode dégradé des systèmes de transport peut recouvrir d'autres formes, moins traditionnelles et qui sont liées à la seconde signification du terme de dégradation : gradations, évolutions⁴. Ces modes dégradés portent alors sur une qualification autre du système de transport. Suite à l'ouragan Katrina et Rita qui ont frappé tous deux les Etats-Unis en 2005, la *Transportation Security Administration* (TSA) rattachée au Département de la Sécurité intérieure, s'est activement associée à l'élaboration des plans de préparation à des catastrophes naturelles à partir de 2006. En effet, parmi ces plans, l'utilisation des systèmes de transport ferré pour évacuer les personnes avant la crise est envisagée. L'évacuation par rail a pour avantage de déplacer un grand nombre de personnes, de réduire le trafic

³ L'expression « transport guidé » recouvre les systèmes de transport public de passagers dont les véhicules suivent une trajectoire déterminée sur tout ou partie de leur trajet, avec des exceptions pour ceux qui circulent exclusivement sur le réseau ferré national. Ils incluent les métros, tramways, certains systèmes hors réseau ferré national fournissant des services réguliers ou des systèmes intermédiaires tels que les bus ou trolley bus guidés par rail ou tout autre système de guidage non physique (guidage optique ou magnétique). (Service Technique des Remontées Mécaniques et des Transports Guidé ; Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie)

⁴ Dégradation : fait de présenter des degrés successifs (Dictionnaire Littré, 2015).

routier sur les axes principaux et de fournir un moyen de déplacement aux personnes mobiles mais non véhiculées (Gordon & Secrest, 2006). Néanmoins, cette possibilité, très prometteuse, requiert d'une part un travail de préparation très important afin de gérer au mieux l'évacuation, dans un temps court, sur des axes ferroviaires stratégiquement choisis tout en assurant la sécurité des personnes transportées, et concourt d'autre part à la nécessité de développer des systèmes de transport urbains résilients face aux risques naturels.

Ainsi, des modes dégradés d'exploitation explicitement définis, dont le processus de mise en œuvre est clair, partagé par l'ensemble des décideurs et formulé sur la base d'un apprentissage systématique de crises passées peuvent être la clé de voûte d'une gestion efficace des risques affectant les systèmes techniques urbains. Les modes dégradés peuvent arborer plusieurs facettes en se déclinant qualitativement et quantitativement de façon multiple (Figure 3). La diffusion des principes du fonctionnement en mode dégradé mis en place par un opérateur de réseau technique urbain est d'ailleurs essentielle afin que l'ensemble des opérateurs de réseaux techniques en ait connaissance. Les dépendances entre les réseaux techniques fournissant les services urbains sont nombreux, dans le temps et dans l'espace et nécessitent alors la co-construction avec tous les gestionnaires de stratégies globales de gestion des risques naturels (Toubin, 2014).

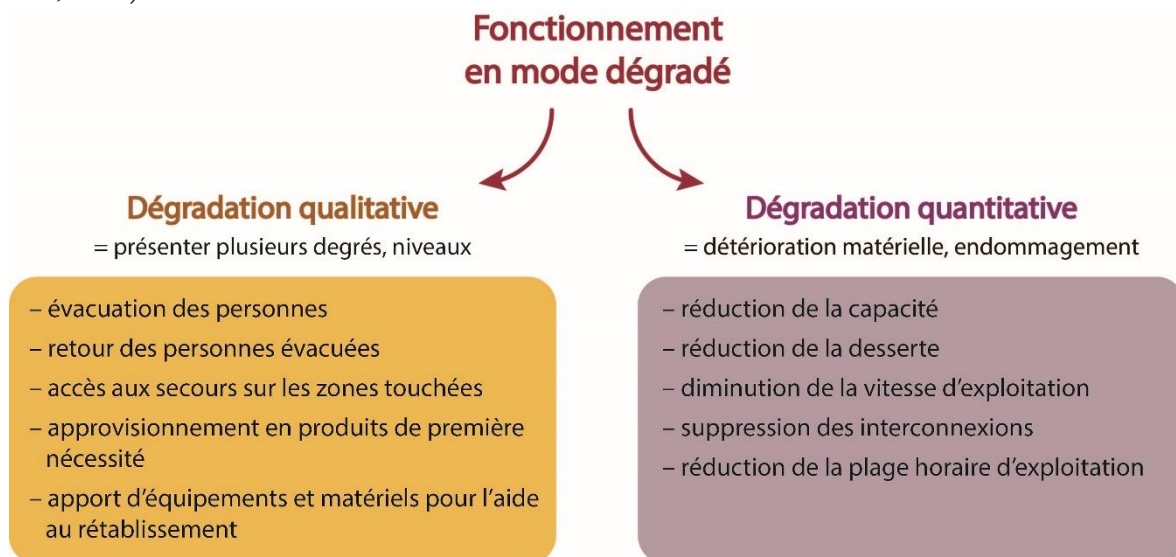


Figure 3 : Fonctionnement en mode dégradé d'un système de transport : caractérisation qualitative et quantitative

4. Conclusion

L'analyse de la résilience des systèmes de transport, et plus généralement celle des systèmes techniques urbains, face au risque d'inondation, comme exemple significatif d'aléa naturel affectant fortement les espaces urbanisés revêt un caractère essentiel sinon indispensable dans l'amélioration de la résilience urbaine. Cette amélioration n'est possible qu'à l'aide de méthodologies nouvelles qui doivent permettre de caractériser les mécanismes complexes de vulnérabilité provoqués par un risque naturel, d'identifier les mesures à mettre en place avant, pendant et après l'aléa naturel afin de protéger les systèmes, de limiter leurs dommages, et d'accélérer leur rétablissement.

La méthodologie présentée dans cette recherche s'attache à caractériser les défaillances internes par effet domino car ce type de défaillances joue un rôle important dans la vulnérabilité des systèmes de transport face au risque inondation. Cette méthodologie permet d'identifier trois profils de composants selon leur comportement lorsqu'ils sont touchés dès lors que le système fait face à un risque inondation. Certains composants ont tendance à initier les défaillances par effet domino, d'autres ont tendance à les propager alors qu'une troisième catégorie les conclut. Ces comportements fournissent une information pertinente quant à la spécification de stratégies de résilience opérationnelles car elles permettent de mieux cibler les composants auxquelles ces stratégies doivent s'adresser. Au-delà des comportements que vont afficher certaines parties du système, le fonctionnement du système peut se poursuivre dans un contexte de risque inondation, mais de façon dégradée. Le mode de fonctionnement dégradé pour un système peut être multiple et se décliner selon plusieurs configurations. D'un point de vue quantitatif, le système peut dégrader sa capacité ou sa vitesse d'exploitation. D'un point de vue qualitatif, il peut présenter d'autres usages tels que l'évacuation des personnes préventivement avant une inondation ou l'approvisionnement en ressources au niveau des zones sinistrées après une inondation. La dimension temporelle apparaît alors comme immanente dans le fonctionnement en mode dégradé, ou plus justement, dans le fonctionnement dans des modes dégradés. Ces modes dégradés peuvent être déclenchés en phase de pré-crise pour de l'anticipation et de la prévention, durant la crise pour une limitation des dommages aux systèmes et en phase post-crise pour une aide au rétablissement. Ce sont les raisons pour lesquelles il est indispensable que ces modes dégradés soient explicitement définis, connus et éprouvés pour une gestion efficace des risques.

Ainsi, le « manque d'évidence » (Pinson, 2004) qui semble exister au sein de la recherche française dans le domaine de l'urbanisme est particulièrement flagrant et perdure dans la sphère de la gestion des risques urbains, qui regroupe essentiellement des pratiques empiriques et des essais récents de caractérisations théoriques. Des méthodologies systémiques portées par le concept de résilience et des cadres théoriques appropriés apparaissent donc comme une nécessité absolue pour l'amélioration de la résilience globale du système urbain.

Références

- 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.
- Commission Européenne (CE) (2011). *Livre blanc - Feuille de route pour un espace européen unique des transports, vers un système de transport compétitif et économe en ressources*. Bruxelles.
- 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 (VTI). <http://ewent.vtt.fi>
- Gordon, G. A., Secrest, C. J. (2006). "Railroad Security Efforts Post Hurricanes Katrina and Rita.". *The American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association (AREMA) Annual Technical Conference*, Louisville, Etats-Unis.
- Haut Comité Français pour la Défense Civile (HCFDC) (2013). *Retour D'expérience Suite À L'ouragan Sandy Sur La Côte Est Des Etats-Unis*. Paris.
- Kaufman, S., Carson Q., Nolan L., Hanson, M. (2012). *Transportation During and After Hurricane Sandy*. Rudin Center for Transportation NYU Wagner Graduate School of Public Service.
- Lhomme, S., Serre, D., Diab, Y., Laganier, R. (2010). « Les réseaux techniques face aux inondations ou comment définir des indicateurs de performance de ces réseaux pour évaluer la résilience urbaine ». *Bulletin de l'Association de Géographes Français*, 487–502.
- Lhomme, S., Serre, D., Diab, Y., Laganier, R. (2011). L'étude des effets dominos de systèmes fortement interdépendants à l'aide de méthodes de Sécurité de Fonctionnement - Application aux réseaux techniques urbains en cas d'inondation. *XXIXème Rencontres Universitaires de Génie Civil*, Tlemcen, pp. 60-69.
- 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 en Géographie, Université Paris-Diderot.
- Littré, É. *Dictionnaire de la langue française*, [En ligne]. <http://www.littre.org/> (Page consultée le 30 novembre 2015).
- Meschinet de Richemond, N., Reghezza, M. (2010). La gestion du risque en France : contre ou avec le territoire ? *Annales de Géographie*, Vol. 673, N° 3, pp.248-267.
- Michel-Kerjan, Erwann. (2003). Risques catastrophiques et réseaux vitaux : de nouvelles vulnérabilités. *Flux*, N° 51, pp. 6-15.
- 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 (VTI). <http://www.mowe-it.eu>
- Pams Capoccioni, C., Nivon, D., Amblard, J., De Cesare, G., Ghilardi, T. (2015). Analyse de risques pour les circulations ferroviaires d'un débordement de drainage sur ligne à grande vitesse (LGV). *La Houille Blanche*, N°4, pp. 39-45.
- Pinson, D. (2004). L'Urbanisme : une discipline indisciplinée ?. *Futures*, Vol. 36, N°4, pp 1-9.

- Provitolo, D. (2005). Un exemple d'effets de dominos : la panique dans les catastrophes urbaines
Introduction. *Cybergeog : European Journal of Geography*, N°328.
- Quenault, B. (2013). Retour critique sur la mobilisation du concept de résilience en lien avec
l'adaptation des systèmes urbains au changement climatique. *EchoGéo*, N°24.
- Reghezza, M., & Gleyze, J.-F. (2007). « La vulnérabilité structurelle comme outil de compréhension des
mécanismes d'endommagement ». *Géocarrefour*, 82.
- Reghezza-Zitt, M. (2015). « De l'avènement du Monde à celui de la planète : le basculement de la
société du risque à la société de l'incertitude ». Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches.
Université Paris 1 - Panthéon Sorbonne.
- Serre, D. (2015). Adapter les systèmes territoriaux à travers leurs composants : le cas des réseaux
critiques. In *Résilience, sociétés et territoires face à l'incertitude, aux risques et aux catastrophes*, ISTE
Editions, Collection *Ecologie*. Londres, 226p.
- SNCF (2004). *Surveillance et maintenance de la voie, Stabilité de la voie, Mesures à prendre en cas de diminution inopinée
ou de risque de diminution de stabilité de la voie*. Norme IN 0319, ex IG EF 2 E 1, Novembre, 18p.
- Toubin, M. (2014). *Améliorer la résilience urbaine par un diagnostic collaboratif - L'exemple des services urbains
parisiens face à l'inondation*. Thèse de doctorat en Géographie. Université Paris-Diderot.
- United Nations (UN) (2014). *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights
(ST/ESA/SER.A/352)*. New-York.
- Wisner, B., Blaikie, P., Cannon, T., & Davis, I. (2003). *At Risk : natural hazards, people's vulnerability and
disasters - Second edition*. Editions Routledge, 496p.