

La gestion des risques multiples en zones urbaines : un modèle intégré d'analyses multirisques pour une résilience générale

Management of multiples risks in urban areas: An integrated multi-risks analysis model for a general resilience

Nabil Touili¹

¹ Laboratoire CEARC, OVSQ, Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines, nabil.touili@uvsq.fr

RÉSUMÉ. Un territoire urbain ne fait jamais face à un seul risque, mais à un ensemble de risques en interactions. Sur un même espace, des aléas inondation, vagues de chaleur/froid ou séisme coexistent souvent avec des activités industrielles telles que des centrales énergétiques, des usines chimiques ou de transports de matières dangereuses. Or, la gestion des risques demeure focalisée sur des approches mono-aléa au détriment d'une approche globale, plus systémique, intégrant les interactions entre des aléas multiples et les risques associés sur un même territoire. Cet article propose un modèle intégré d'analyses multirisques adapté à une résilience générale des territoires urbains.

ABSTRACT. A territory is never facing one hazard but a set of interacting hazards. In a same space, floods, heat-waves/cold-waves or earthquakes usually coexist with industrial activities as energy plants, chemical factories or hazardous materials transportation. Thus, the risk management is still focused on single-hazard approaches at the expense of global, more systemic, ones which integrate the multiple hazards and the associated risks' interactions on a same territory. This paper put forward an integrated model for multi-risks analysis to enhance a general resilience in urban territories.

MOTS-CLÉS. Risques multiples, Analyses multirisques, Interactions, Territoires urbains, Résilience générale.

KEYWORDS. Multiple risks, Multi-risks analysis, Interactions, Urban territories, General resilience.

Introduction

Les évènements catastrophiques mettent à l'épreuve la durabilité des territoires et leurs capacités de résilience. Les territoires urbains¹ en particulier, font face à des aléas multiples, d'origine naturelle mais aussi technologique². Ces espaces peuvent être soumis à des inondations, tsunamis, glissements de terrain, tempêtes ou séismes mais aussi à des aléas liés aux accidents de Transports de Matières Dangereuses (TMD) ou d'explosion dans une installation chimique ou nucléaire. Ces risques urbains collectifs [GIL 03] se distinguent, en termes de gestion, par des approches spécifiques et mono-sectorielles. Or, les aléas interagissent et peuvent se produire aussi bien successivement que simultanément sur un même territoire.

Les catastrophes résultent souvent des effets domino [DAU 13]. En 2005, l'ouragan Katrina a provoqué des ruptures de digues, une inondation de la ville de la Nouvelle-Orléans et une pollution chimique des plans d'eau [BIR 06]. Les autorités chinoises reconnaissent que le barrage des Trois Gorges augmente l'activité sismique locale [GRI 14]. Si la tempête Martin a provoqué en France une inondation partielle de la centrale de Blayais et un accident mineur de niveau 2 [ROC 14], la catastrophe de Fukushima illustre la gravité des effets domino entre un séisme, un tsunami et un accident nucléaire au niveau de la centrale de Fukushima Daiichi en 2011. Un an après, la tempête Sandy a déclenché des inondations et des incendies au niveau la ville de New York ainsi que des fuites de milliers de litres de carburant dans la mer [SMY 15 ; PES 15]. Lors de cette catastrophe, des

¹ Villes et/ou littoral et zones côtières urbanisées

² Aléas liés aux activités industriels et aux technologies humaines

événements en cascades ont affecté les réseaux (énergétiques, d'infrastructures de transports, de télécommunications, d'alimentation, d'eau et d'assainissement et de gestion des déchets) et la gestion des secours dans la ville de New York [HAR 16]. Une cinquantaine de victimes a ainsi, indirectement, succombé à cause du froid et aux pannes prolongées du courant [PES 15].

Ces événements catastrophiques sont le résultat d'effets dominos entre un ou de plusieurs risques sur un même territoire. Le risque est le produit d'interaction entre une société et son environnement sur un espace donné [IPC 14]. Une catastrophe peut ainsi être le résultat d'une combinaison entre plusieurs aléas naturels, entre plusieurs aléas technologiques, mais aussi entre aléas naturels et technologiques (nat-tech). En outre, les effets domino prolongent la diffusion des conséquences dans l'espace et dans le temps au-delà de l'échelle des aléas pris indépendamment [REG 15]. La vulnérabilité, définie comme la propension à l'endommagement et au dysfonctionnement d'un territoire [LEO 06 ; DER 10] est ainsi accentuée par les interdépendances au sein (et au-delà) d'un territoire urbain.

Néanmoins, l'« effet domino » est un terme générique qui désigne une séquence d'événements interdépendants progressant par cause à effets. Ce terme est souvent associé aux « effets en cascades » ou « événements en cascades » [DEL 06]. Selon les domaines et les angles d'études, les travaux scientifiques tendent à nuancer des aspects particuliers dans la chaîne causale. Sous le terme « effets domino », on peut d'abord distinguer l'aspect direct ou indirect reliant les événements imbriqués. Gill et *al.*, (2016) aborde les effets dominos selon qu'un premier événement déclenche, amplifie ou altère d'autres événements. Par ailleurs, on distingue aussi des approches aléas-centrés, qui se focalisent sur les effets dominos entre des aléas (naturels ou technologiques), des approches d'analyses des chaînes d'impacts à court, moyen et long termes. Plus récemment, le terme effet domino est associé aux « interactions multi-aléas » [KAP 12] ou « aléas en chaînes » [PRO 15] mais aussi aux « interactions en cascades » [PES 15] ou aux « risques en cascades » [ZAI 18] pour ainsi prolonger l'analyse aux enjeux exposés et à la vulnérabilité.

Le terme « effets domino » suppose une chaîne séquentielle issue d'un événement déclencheur et le terme « en cascade » suppose une amplification des effets le long de la chaîne d'interaction. Dans cet article, le terme « interactions » nous semble plus approprié pour décrire des liens multidirectionnels et pas forcément linéaires et séquentiels. Certains exemples des catastrophes citées plus haut sont repris dans la suite de cet article afin de nuancer des aspects spécifiques d'interactions.

Un espace urbain ne fait jamais face à un seul risque, mais à un ensemble de risques en interactions. Or, la gestion actuelle des risques s'appuie sur des approches mono-risques (ou mono sectorielles) focalisées sur un seul risque à la fois [BEC 06] et sur des scénarios statiques négligeant les dynamiques des risques et celles des territoires urbains. En considérant les risques séparément, les solutions apportées pour de leurs gestions ne tiennent généralement pas compte d'autres phénomènes et sont parfois mêmes incompatibles avec ces derniers [DER 05]. Une façon d'approcher ces questions est d'utiliser le concept de résilience qui renvoie à la capacité des territoires à « tolérer des perturbations en maintenant leurs structures et leurs fonctions » [FIK 06]. Des approches segmentées ne permettent pas forcément la résilience générale d'un territoire soumis à plusieurs risques. La résilience mérite d'être pensée dans un cadre plus large qui inclue les interactions entre les risques multiples encourus.

Le travail que nous présentons ici vise à contribuer aux approches globales multirisques pour mieux appréhender la complexité des interactions entre des risques multiples sur un-territoire. Il propose une démarche conceptuelle, par le biais d'un modèle intégré d'analyses permettant de prévoir des scénarios d'interactions entre plusieurs risques. Dans un premier temps, nous allons introduire la notion de « risques multiples » en illustrant les besoins actuels en matière d'approches multirisques. Une typologie des différentes interactions potentielles entre plusieurs risques est ainsi réalisée. Dans un deuxième temps, nous allons présenter notre modèle intégré d'analyses multirisques en définissant ses composantes. Cet article fini par une partie « discussions » autour de la contribution de ce modèle aux analyses multirisques et à la résilience générale des territoires.

1. Vers des approches multirisques

La typologie des risques prône souvent une distinction selon leurs origines, naturelle ou technologique. Ainsi, les risques sont considérés comme étant soit purement naturels (tempête, glissement de terrain, érosion, séisme et inondation par exemple) soit comme purement technologiques (rupture de barrages ou accident dans une usine chimique/centrale nucléaire), soit comme une combinaison des deux (tempête conduisant à une marée noire et une pollution) [KAD 14]. Cette typologie, qui a fortement incité des approches disciplinaires variées, ne reflète pas la totalité des interactions dans les mécanismes des risques.

La maîtrise de la gestion d'un risque donné passe essentiellement par la maîtrise des processus spécifiques qui lui sont associés. Cette maîtrise des processus spécifiques a orienté la science dans le développement de domaines spécifiques par secteur ou par type de risque. Or, les risques incluent souvent des interférences naturelles et anthropiques [KAP 12]. L'adjectif « naturel », à titre d'exemple, est parfois inadéquat étant donné l'ensemble des facteurs (anthropiques et naturels) intervenant dans les processus de certains risques [REG 09]. Les aléas supposés naturels, tels que les tempêtes, les crues de débordement de cours d'eau, sont en réalité des aléas « anthropisés » par des interventions humaines [PIG 15]. Aujourd'hui, la distinction entre le naturel et le technologique est entraînée de glisser, progressivement, vers des catégories plus intégratrices, à savoir celles des risques environnementaux, hybrides (nat-tech) ou anthropiques.

Ce changement de paradigme correspond à la réalité actuelle où la plupart des catastrophes résulte des interactions entre des risques multiples. La notion du « risque systémique » développée par Pigeon, (2012) et celle du « risque global » développée par Reghezza, (2017), reflètent cette tendance en matière du global-systémique dans la gestion des risques.

Un risque donné est le produit d'interaction entre aléa(s) et vulnérabilités. Ceci permet d'envisager les risques multiples, en soi, comme un (sous) système d'interaction entre des aléas et des vulnérabilités sur un même territoire. Les analyses multirisques consisteraient à considérer chaque risque comme un élément en interaction avec d'autres risques (éléments) et dont le tout est différent de l'analyse propre à chaque risque. Tel que constaté lors des catastrophes Sandy ou Fukushima, les interactions entre un séisme, une tempête, une inondation et un accident industriel (ou technologique) ont révélé des différences avec l'analyse individuelle de chacun de ces risques. À la différence d'une approche analytique, la prise en compte d'un risque en plus ou en moins pourrait changer totalement la donne d'un point de vue systémique. Les analyses multirisques envisagent alors un sens globalisant, et plus systémique, dans le sens où un territoire peut être à la fois soumis à des aléas multiples et à des vulnérabilités issues (aussi) de ses interactions avec son environnement.

La gestion des risques a franchi un pas de plus vers la systémique en utilisant le concept de la résilience qui invite à concevoir les risques dans leur globalité et leur complexité [BAR 13]. Un événement, en apparence, isolé peut faire partie d'une longue chaîne d'événements, directement ou indirectement, imbriqués conduisant à une catastrophe. Désormais, un besoin fondamental émerge pour l'adoption d'approches, plus systémiques, multirisques. Les approches mono-risque qui isolent un risque tel un phénomène indépendant, accordent peu de crédit aux interdépendances dans l'analyse et, par conséquent, dans la gestion de l'ensemble des risques. Par le focus sur un seul risque à la fois, l'évaluation de la résilience des villes peut aboutir à de fortes contradictions, notamment en matière d'aménagements urbains et de gouvernance des risques [SER 15]. Au-delà du fait d'acquiescer une vision globale et plus réaliste des risques encourus, les approches multirisques permettent de mieux identifier les aléas, les vulnérabilités ainsi que les capacités de résilience au niveau d'un territoire.

L'analyse d'un risque donné appelle à la prise en compte d'autres risques coexistant sur un même espace géographique donné. Dans cet article, le terme « multirisques » renvoie à l'ensemble des risques pertinents identifiés sur un même territoire. Ainsi, la gestion multirisques s'appuie sur l'analyse

des risques multiples et de leurs interactions y compris avec les réponses apportées dans le cadre de leurs gestions.

2. Typologies des interactions entre risques

Réaliser une analyse efficace et durable (sustainable) requiert la prise en compte simultanée de l'ensemble des risques [VAN 12]. Généralement, la typologie conventionnelle laisse entrevoir trois catégories d'interactions : un évènement naturel peut entraîner un évènement technologique (nat-tech), un évènement technologique peut entraîner un évènement naturel (tech-nat), mais aussi une combinaison entre ces deux mécanismes. Afin de contribuer à des analyses intégrées multi-aléas et multirisques, il semble plus pertinent de caractériser les interactions entre les aléas et les risques associés en dehors de cette catégorisation à la fois vague et réductrice.

Les risques interagissent entre eux et avec les territoires concernés et leurs évolutions [PIG 15]. Les mécanismes dynamiques à l'interface des aléas, dans leurs processus physiques, de l'exposition d'enjeux vulnérables et des territoires, par la gestion apportée à ces risques, peuvent être présentés sous trois types d'interactions possibles : des interactions de causalité (un aléa déclenche un ou plusieurs aléas), des interactions sous formes de rétroactions complexes (où un aléa amplifie ou réduit la probabilité d'occurrence d'autres aléas), et des interactions à travers les gestions des risques sur un même territoire.

2.1. Un aléa déclenche un ou plusieurs aléas

Ce type d'interaction caractérise un lien de causalité directe entre un ou plusieurs aléas se produisant consécutivement sur une dimension spatiale et temporelle. Une inondation peut déclencher un accident industriel et une rupture de digue peut déclencher une inondation. Dans cette imbrication causale, la série d'évènements est initiée par un premier aléa déclenchant, à lui seul, un ou plusieurs autres aléas. De fortes précipitations, une fonte de neige ou un séisme peuvent tous déclencher des glissements de terrain. Ces glissements de terrain, selon le contexte, peuvent déclencher à leurs tours des tsunamis ou des inondations par exemple [GIL 14]. Ainsi, un même aléa peut être en amont ou en aval de plusieurs chaînes de cause à effets. Alors qu'on se focalise, parfois, sur les conditions météorologiques ou sur les ruptures des digues comme élément déclencheur des inondations, celles-ci ont été provoquées en 1963 par la rupture du barrage Vajont en Italie. Cet évènement catastrophique qui a coûté la vie à 1900 personnes s'est produit alors que les digues protectrices n'ont subi aucun dommage [SMI 13]. Un scénario similaire est craint sur les villes de Wuhan et de Changsha en Chine. Si le barrage des Trois Gorges cède à cause d'un séisme, ceci déclencherait des inondations par des eaux qui dévaleraient en cascades sur ces deux villes [SAV 03].

Cependant, un même aléa peut déclencher une série d'aléas. L'ouragan Katrina a provoqué, successivement, des ruptures de digues causant une inondation de la ville de la Nouvelle-Orléans et une pollution chimique des plans d'eau [BIR 06]. Une imbrication d'aléas lors de l'ouragan Sandy a commencé par une dépression tropicale (née au sud-ouest de la mer des caraïbes) qui a atteint les côtes américaines causant ainsi des inondations et une rupture d'un réservoir d'hydrocarbures dans une raffinerie pétrolière [PES 15]. Désormais, la catastrophe référence de ce type d'interaction est celle de Fukushima où un tremblement de terre de magnitude 9 a déclenché un tsunami, atteignant jusqu'à 39 mètres de haut, qui a causé des accidents nucléaires et des pollutions environnementales majeures. [IOV 11].

Ce type d'interaction reste relativement simple à identifier au vu du caractère mono-causal et direct reliant les différents aléas d'une part, et la faible extension spatiale et temporelle des sources de ces aléas et de leurs impacts d'autre part.

2.2. Un aléa peut amplifier ou minimiser un ou plusieurs autres aléas

Sans qu'il y ait une incidence directe, un aléa peut amplifier/réduire la probabilité d'occurrence d'un ou plusieurs autres aléas. À titre d'exemple, un incendie de forêt est loin d'interagir directement avec des glissements de terrain. Néanmoins, en détruisant les végétations qui maintiennent la stabilité des sols en pente, un incendie de forêt favorise l'érosion des sols et peut amplifier des glissements de terrain en cas d'inondations, de fonte de neige ou de séisme [CAN 08]. Une sécheresse ne déclenche pas directement des feux de forêts. En revanche, elle amplifie leurs probabilités sous certaines conditions de hautes températures ou en périodes de canicules. Ce type d'interaction peut s'observer sur de longues chaînes d'interactions : une tempête peut entraîner une inondation et des éboulements de berges. Ceci augmente les probabilités de nouvelles inondations par le blocage des lits des fleuves (embâcles) ou par l'accumulation des sédiments dans le système fluvial [GIL 14]. Le ruissellement érosif des sols, qui présente une source directe de pollution de la ressource eau, amplifie les probabilités des inondations par crues turbides [DEL 03, GAI 06].

Dans un autre registre, des activités humaines telles que la construction de grands barrages hydrauliques, l'exploration de sous-sols et l'exploitation des ressources souterraines peuvent amplifier l'activité sismique sur un milieu prédisposé. Aux États-Unis, des corrélations positives sont avérées entre la sismicité locale et le remplissage en eau du grand barrage Hoover au Nevada [INE 17]³. En Chine, les autorités reconnaissent des liens entre le barrage des Trois Gorges situé près de la ville de Yichang et l'amplification de l'activité sismique locale.

En revanche, les aléas peuvent aussi interagir en réduisant les probabilités d'occurrence d'autres aléas. La canicule de 2003 a conduit à l'arrêt d'une partie du parc nucléaire français pour cause d'assèchement des cours d'eau nécessaires aux circuits de refroidissement [CHA 11]. Les hautes températures des eaux et leurs faibles débits ont conduit de nombreuses centrales européennes à demander des dérogations exceptionnelles de rejets d'eaux chauffées pour continuer leur activité en périodes caniculaires [DUR 12]. Des scénarios similaires peuvent ainsi se produire, notamment avec l'accroissement des événements météorologiques extrêmes sous les impacts potentiels des changements climatiques. On peut imaginer que de longues périodes de sécheresse/étiages ou qu'une forte récurrence d'événements catastrophiques (type Xynthia ou Sandy) pourraient interférer avec les activités de certaines installations pétrochimiques ou nucléaires fortement exposées.

Le caractère multi-causal et non linéaire complexifie la prévision de ce type d'interaction. Contrairement au type précédent, ce type d'interaction revêt des aspects, directs et indirects, reliant des aléas évoluant sur des échelles temporelles propres à chaque type d'aléa.

2.3. De la gestion des risques aux risques des gestions

L'observation des faits reflète certaines interférences entre les risques à travers leurs gestions. Des risques peuvent émerger, s'amplifier ou disparaître sous l'impact de la gestion d'un ou plusieurs autres risques. Certaines pratiques de gestions affectent aussi bien les risques que les territoires en question. Les interférences entre risques industriels et celui de transports de matières dangereuses (TMD) illustre parfaitement cette interaction entre des gestions mono-risques : la prévention au sein des sites industriels passe par l'application de la directive Seveso⁴. Pour prévenir les risques industriels, cette réglementation vise à réduire les quantités stockées en matières dangereuses dans les établissements industriels. En revanche, cette pratique de gestion (non coordonnée) fait émerger des flux conséquents de transports des matières dangereuses sur les infrastructures, accentuant ainsi les risques de Transport de Matières Dangereuses (TMD) [GRI 07]. Un autre exemple de ce type d'interaction s'illustre via

³ Rapport d'étude « état des connaissances concernant les aléas et les risques liés à la sismicité anthropique » de l'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS).

⁴ Des entreprises accueillant des matières et des produits dangereux susceptibles, en cas d'accident, de générer des catastrophes majeures.

l'impact du séisme de 1988, en Arménie, sur la décision d'arrêt immédiat, par mesure de sécurité, de la centrale nucléaire de Metsamor [FAU 91]. Par crainte de futurs séismes, l'arrêt de la centrale a contribué à la réduction des risques associés d'accidents nucléaires. Dans le cadre de la gestion des inondations, les constructions de digues comme une mesure préventive a fait émerger un nouveau risque : le risque « digue » [PIG 15]. La digue, comme une mesure protectrice face aux inondations peut être considérée aussi comme un aléa additionnel technologique ou un facteur de vulnérabilité face aux inondations au vu de la densification des enjeux qu'elle entraîne en zones à risques [PIG 15 ; TOU 17]. Ces interactions via la gestion des risques sur un même territoire peuvent aussi s'observer dans la gestion de crise : à Tokyo, les plans d'évacuation face aux séismes avaient prévus 149 sites (parcs et espaces ouverts) comme refuges. Or, ces sites d'évacuation pensés uniquement face à un séisme ont malheureusement piégé la population pendant les incendies de 1923 [DAU 13].

Ce troisième type d'interaction révèle des influences entre les réponses unilatérales que prône la gestion mono-risque.

Il convient de souligner que les trois types d'interactions mentionnées sont liés dans le sens où un risque (ou aléa) donné peut, séparément ou simultanément, faire partie de plusieurs interactions : une éruption volcanique peut déclencher un feu de forêt. Tel que l'atteste l'impact, en France et en Europe, du volcan Islandais en 2010, cet aléa peut amplifier les pollutions par le rejet de nombreuses particules de soufre et de dioxyde de Carbone. En congruence avec les risques volcaniques, des risques technologiques émergent via les choix de développer des centrales géothermiques comme source alternative d'énergie. Cette nouvelle activité, qui exploite les sources volcaniques chaudes du sous-sol, pourrait à son tour amplifier des activités sismiques au niveau du territoire. De même, une inondation peut déclencher un accident industriel, amplifier des mouvements de terrain ou réduire les probabilités d'aléas de feu de forêts. Elle peut aussi impacter un risque d'accident technologique ou nucléaire via l'arrêt de centrales ou de sites industriels, par précaution, en zones fortement exposées aux inondations (figure 1).

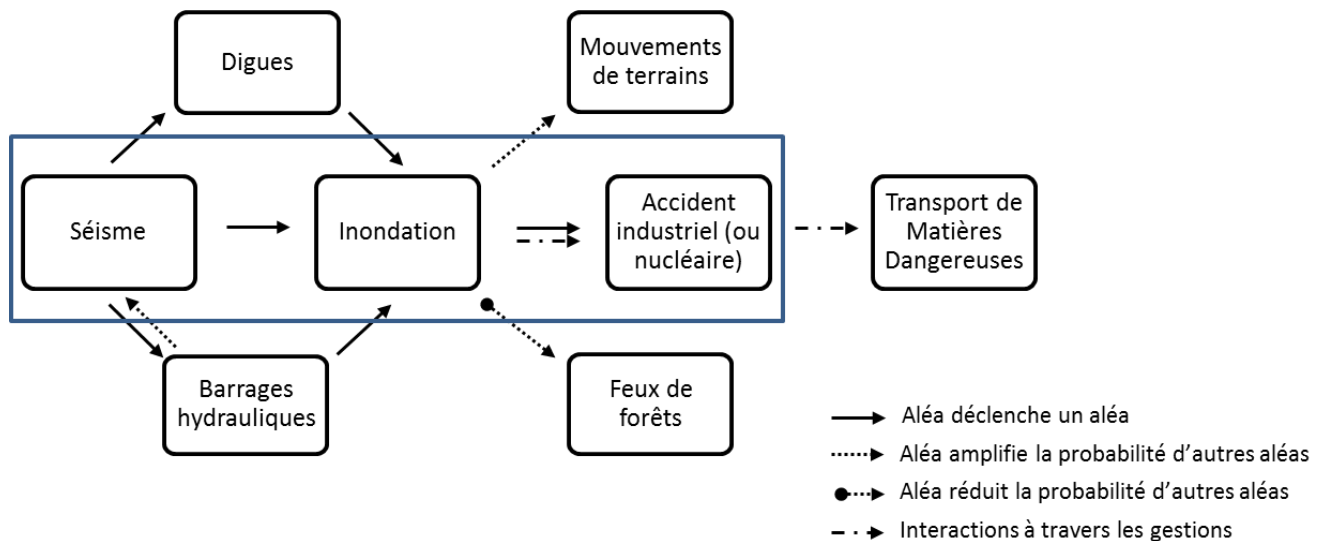


Figure 1. Schéma synthétique de la simultanéité possible entre les trois types d'interactions pour le risque inondation

3. Vers une démarche conceptuelle d'analyses multirisques : Le modèle DPRC-R

Selon que l'on se positionne sur les aspects fonctionnels et technicistes ou par les prismes des sciences sociales, les analyses des risques se focalisent soit sur les aléas, en tant que processus physique source de dangers, soit sur l'exposition d'enjeux plus ou moins vulnérables au niveau du territoire [REN 15]. Dans un contexte plus large, et en vue de développer un modèle intégré d'analyses

multirisques, celui-ci doit permettre d'aborder les risques de point de vue des aléas, de la vulnérabilité, de la résilience et de l'adaptation des territoires.

Une analyse déterministe, linéaire et mono-causale ne représente qu'une partie d'une réalité, plus complexe, des interactions à l'interface risques multiples-territoire urbain. Dans le cadre d'une approche globale, les analyses multirisques intègrent l'ensemble des interactions entre les risques multiples et entre ceux-ci et le territoire en question. Le recours à de telles analyses reste, toutefois, limité par l'absence d'un cadre méthodologique de référence.

La question centrale des analyses multirisques est la suivante : quels sont les risques encourus sur un territoire et comment ils interagissent ? Un modèle d'appui à ces analyses doit être applicable à différents types de risques tout en permettant de manifester des points d'interactions potentielles entre ces risques et le territoire urbain. Nous nous sommes interrogés sur les points de convergence, sur un même territoire, des risques multiples : d'où proviennent-ils ? Par quels moyens ? Où ? Pourquoi ? Et comment y répond-on ? Ces réflexions nous ont amené à identifier des (*Drivers/Sources*), (*Pathways/Chemins*), (*Receptors/Enjeux*), (*Consequences/Conséquences*) et (*Response/Réponses*) comme les composantes d'un modèle intégratif DPRC-R (figure 2).

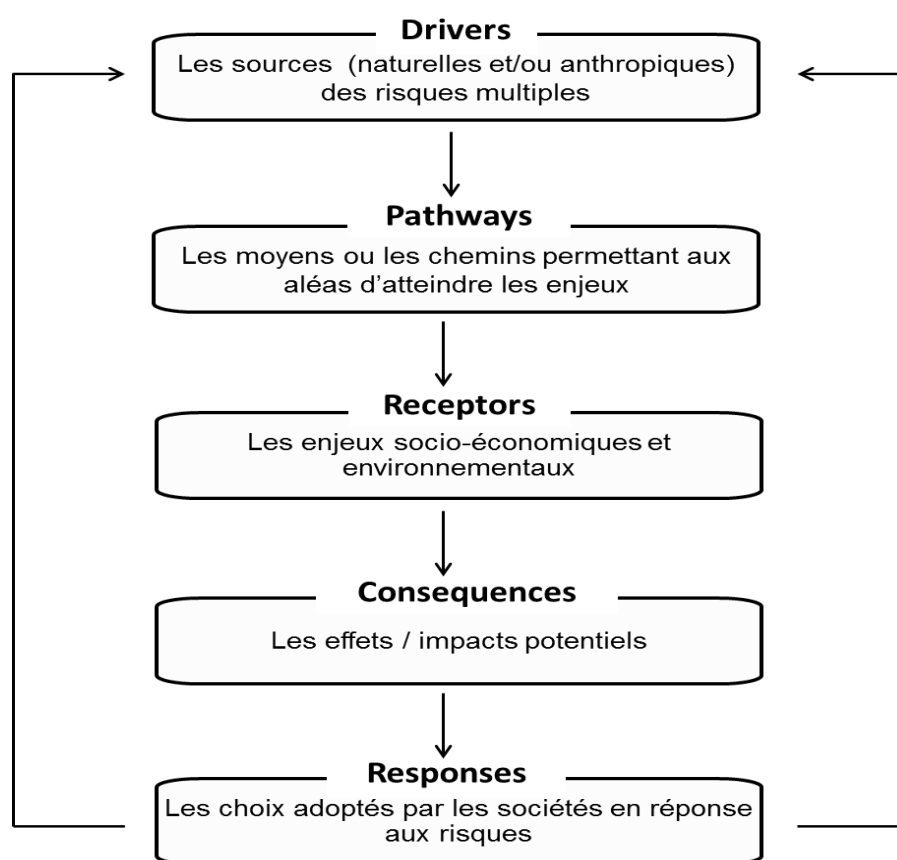


Figure 2. Modèle intégré DPRC-R d'analyses multirisques

On tient à signaler que l'idée du modèle DPRC-R s'est inspirée du modèle SPR (Source, Pathway, Receptor). Ce modèle a été déployé dans l'analyse des impacts des risques d'inondations en reliant des sources d'aléas avec des enjeux potentiels et des conséquences à large échelle [NAR 14].

Chacune des cinq composantes de ce modèle présente un point d'interaction potentiel entre plusieurs risques sur un territoire. Les composantes de ce modèle DPRC-R sont définies comme suit (tableau 1) :

D : Drivers	Cette composante fait référence aux aléas, l'expression physique du risque. Un aléa donné peut être issu d'un ou de plusieurs « Drivers » naturels et/ou anthropiques. Des aléas multiples sont, ainsi, souvent le résultat d'interactions de plusieurs (Drivers).
P : Pathways	Cette composante caractérise l'exposition aux aléas. Elle permet d'intégrer, dans les analyses multirisques, l'exposition fonctionnelle face à des aléas situés, spatialement, hors du territoire : exemple de la pollution atmosphérique en France par les panaches de cendres du volcan islandais de 2010.
R : Receptors	Cette composante désigne les enjeux socio-économiques et environnementaux susceptibles de subir des préjudices. Elle regroupe les populations, les habitations, les forêts, les infrastructures, les équipements, les industries...etc. Ces enjeux forment des points de convergence entre des risques multiples et un territoire donné.
C : Consequences	Cette composante englobe les effets immédiats et les impacts potentiels face aux aléas. Elle regroupe les préjudices humains, les pertes et dommages économiques et les impacts environnementaux. Une conséquence d'un aléa peut déclencher, amplifier ou réduire d'autres risques.
R : Responses	Ce sont les réponses ⁵ (solutions) liées à la gestion des risques en termes de stratégies, plans ou mesures physiques ou non structurelles. Cette composante vise à manifester des interactions entre les réponses de la gestion mono-risque : une mesure de prévention pour un risque donné peut interagir avec d'autres mesures/plans sur le même territoire. En outre, elle permet d'analyser, dans la durée, la portée des réponses actuelles sur la composante (Drivers) d'autres risques.

Tableau 1. Les composantes du modèle intégré DPRC-R d'analyses multirisques

Au sein de la gestion actuelle mono-risque, l'objectif de ce modèle est de manifester les trois types d'interactions potentielles par des liens horizontaux entre les risques multiples identifiés (figure 3).

⁵ Des réponses collectives issues de l'action publique ou de la société civile et d'acteurs non institutionnels

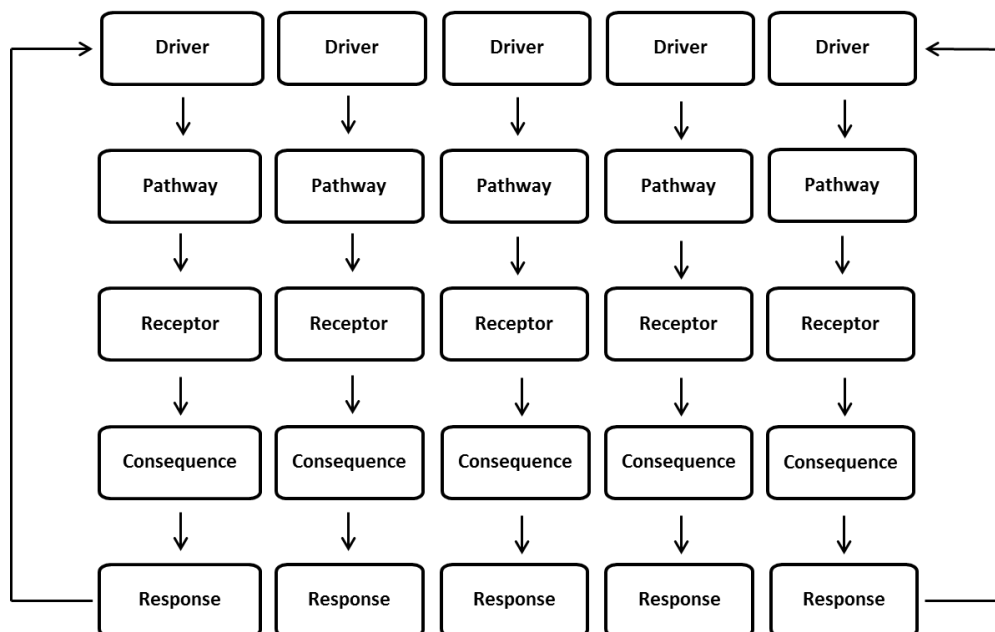


Figure 3. Illustration d'une démarche analytique dans la gestion actuelle mono-risque

La figure 4, ci-dessous, présente un exemple pratique d'application du DPRC-R en manifestant les interactions entre les risques multiples.

4. Description du modèle DPRC-R

Ce modèle contribue à mettre des liens au sein des analyses spécifiques des processus géophysiques (essentiellement liés aux séismes, tsunamis, glissement de terrains ou volcans), hydrologiques (essentiellement liés aux inondations, érosions ou sécheresses), atmosphériques (essentiellement liés aux cyclones ou tornades), biophysiques (essentiellement liés aux incendies de forêts), et des activités humaines (essentiellement liées aux modes d'urbanisations, aménagements, (dé)forestations, transports, industries, agricultures,...etc.).

La composante (*Drivers*) vise à envisager les aléas⁶ comme un point d'interaction entre plusieurs sources des phénomènes potentiellement dangereux. Une inondation peut avoir comme (*Drivers*) une tempête, un cyclone, une fonte de neige, une élévation du niveau de la mer mais aussi un ruissellement érosif, une rupture de barrage ou un séisme. Une pollution peut avoir comme (*Drivers*) des activités industrielles, des cendres volcaniques ou encore un feu de forêt sur des espaces préalablement pollués. Des feux de forêts ayant brûlé des zones préalablement polluées par l'accident de Tchernobyl de 1986 ont entraîné une seconde contamination des populations locales et des pollutions des sols [GRI 14].

La composante (*Pathways*) caractérise les mécanismes qui permettent à un (*Driver*) d'atteindre les enjeux (*Receptors*). Ce terme est utilisé pour l'analyse des risques de pollutions se propageant via l'air, l'eau souterraine ou les nappes phréatiques [HAL 03] ou pour désigner des ouvrages naturels ou technologiques de protection des inondations [MON 14]. Pour les analyses multirisques, cette composante accorde une place importante aux risques diffus tels que des marées noires ou des nuages radioactifs ou volcaniques. La notion d'exposition aux aléas englobe une dimension fonctionnelle [TOU 15] en plus de sa dimension spatiale.

⁶ La manifestation spatiale et physique d'un évènement ou d'un phénomène potentiellement dangereux caractérisé par une intensité et une probabilité/fréquence (Morel et al., 2010)

La composante (*Receptors*) est capitale pour analyser la vulnérabilité multidimensionnelle face à des risques multiples. Certains enjeux spécifiques, dans une analyse mono-risque, entraîne des effets domino entre des enjeux multiples. Une installation Seveso est un (*Driver*) de point de vue strict des risques industriels. Or, elle constitue un enjeu (*Receptor*), pour les aléas sismiques ou d'inondations, susceptible d'entraîner des évènements en cascade.

La composante (*Consequences*) permet d'intégrer les conséquences d'un aléa, sur différentes échelles de temps, dans les analyses d'autres aléas. Une déforestation (comme conséquence d'un feu de forêt) amplifie les glissements de terrain et les inondations en cas de tempête. Une rupture de digue/barrage, comme conséquences d'un séisme ou d'un cyclone, peut entraîner une inondation. Néanmoins, les aléas n'ont pas les mêmes effets/impacts selon qu'ils se produisent séparément ou simultanément (combinés) sur un même territoire. En effet, c'est la rupture de l'alimentation électrique des systèmes de refroidissement des réacteurs (comme conséquence du séisme) qui a entraîné l'explosion nucléaire de 2011 à Fukushima. De même, la quasi-totalité des constructions démolies avaient pour cause directe le tsunami à Fukushima, et non le tremblement de terre qui a précédé. En outre, c'est la liquéfaction des sols, comme conséquence directe du tremblement de terre, qui a affaibli la résistance des constructions face au tsunami [PLA 17]. Cette composante du modèle est déterminante pour mieux prendre en compte les interactions causales et celles indirectes de rétroactions entre aléas multiples.

La composante (*Responses*) inscrit la gestion des risques dans un continuum adaptatif. D'abord, elle permet de recenser les réponses existantes, mais aussi celles manquantes, par rapport aux risques pertinents préalablement identifiés. Il serait, ainsi, possible de déceler les éventuelles concordances (ou discordances) générées par des stratégies ou des plans mono-risques (PPRN⁷, PPRT⁸, PCS⁹, régimes d'assurances,...etc.) qui se superposent sur un même territoire. En revanche, les réponses adoptées par les sociétés, à l'égard des risques, induisent à leurs tours des changements au niveau du territoire. À titre d'exemple, le recours à la géothermie profonde (comme réponse à la pollution) est un facteur anthropique additionnel à prendre en compte dans les (*Drivers*) des aléas sismiques futurs. Le lien de rétroaction entre les composantes (*Responses*) et (*Drivers*) accorde à ce modèle une caractéristique dynamique essentielle qui inscrit les réponses actuelles dans un cadre d'adaptation continu du territoire.

La (figure 4) présente une illustration schématique de l'application du modèle DPRC-R. Le choix des risques y a été arbitrairement choisi et le niveau des interactions a été limité pour maintenir la visibilité et la clarté du schéma. Les trois styles de flèches reflètent les trois types d'interactions susmentionnées. Les interactions contenues dans cet exemple schématique sont détaillées ci-dessous :

- (1) Une activité anthropique (exploitation des ressources souterraines/gisements) amplifie les activités sismiques
- (2) Une rupture de barrage d'eau (en cas de séisme) déclenche une inondation
- (3) (3') Une rupture de digue (en cas de séisme ou cyclone) déclenche une inondation puis des pollutions (effet domino)
- (4) Une liquéfaction amplifie les effets /impacts des dégâts en cas d'une inondation(ou tsunami)
- (5) (5') Un séisme (ou inondation) peut entraîner la fermeture d'une centrale nucléaire ou d'une installation Seveso
- (6) Une rupture des réseaux électriques (suite à des inondations) peut entraîner un accident industriel
- (7) Des coulées de boues toxiques procèdent d'une rupture de réservoir (suite à une inondation) dans une usine d'aluminium

⁷ Plans de Préventions des Risques Naturels

⁸ Plans de Prévention des Risques Technologiques

⁹ Plans Communaux de Sauvegarde

- (8) Une déforestation (comme action humaine) amplifie les mouvements de terrain et les inondations en cas de tempête [GIL 16]
- (9) Un plan de prévention incitant à réduire, chez les industriels, les quantités de stockage en matières premières amplifie des risques de Transports de Matières Dangereuses (TMD)

Ce modèle DPRC-R offre deux manières possibles de procéder :

– Une entrée par type de risque : Consiste à développer des scénarios mono-risques et à les superposer afin d’explorer d’éventuelles interactions de causalités, de rétroactions ou d’impacts via la gestion. Cette entrée permet de développer des scénarios prospectifs multirisques.

– Une entrée par composante : Consiste à sélectionner une composante et recenser les éléments correspondants. Appliqués à toutes les composantes, les éléments les plus récurrents peuvent être identifiés comme les éléments les plus pertinents de point de vue d’une gestion multirisque. Ces éléments, points de convergence de plusieurs scénarios, sont souvent à l’origine des interactions entre des risques multiples.

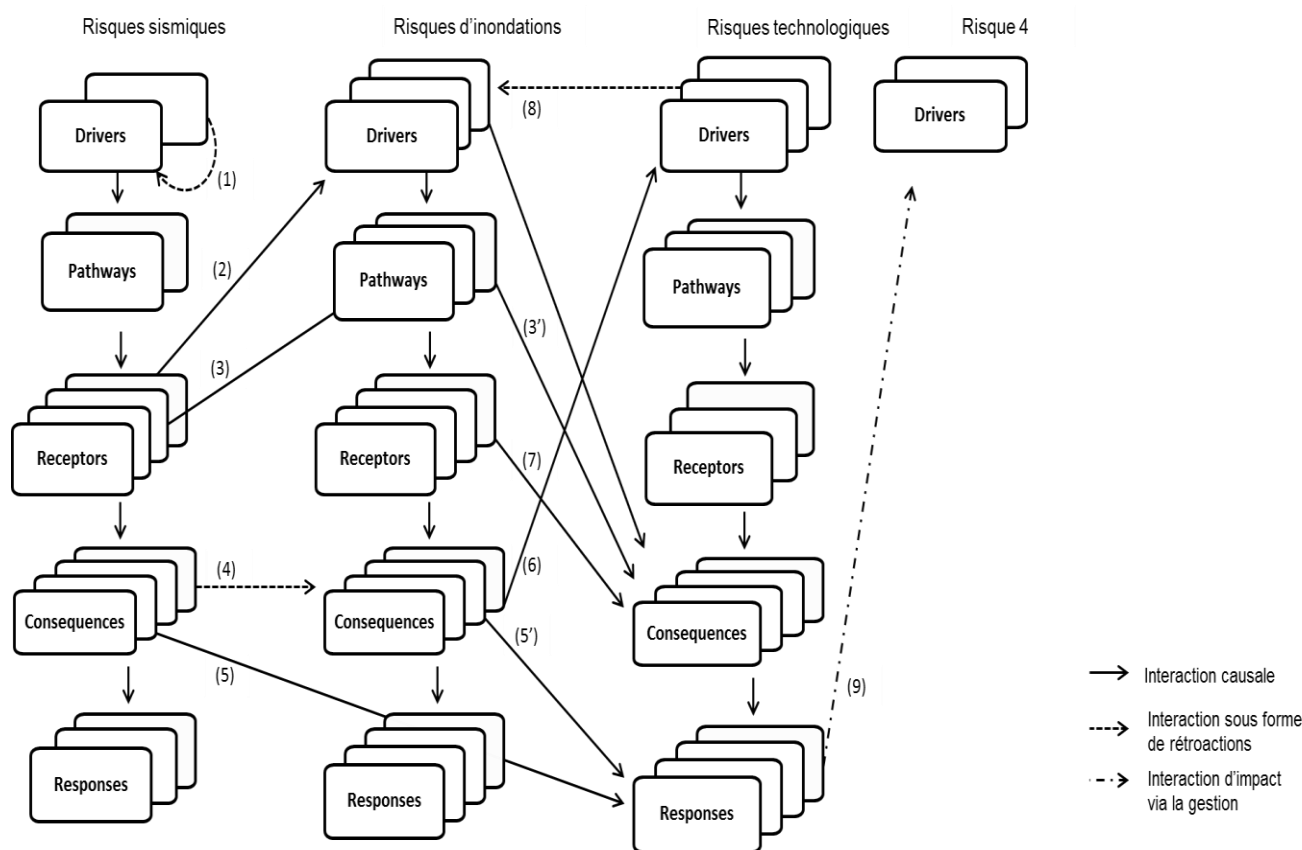


Figure 4. Exemple schématique d'application du modèle intégré DPRC-R

En pratique, le choix entre les deux entrées possibles va dépendre des caractéristiques du territoire et des risques en questions. Une démarche test d’application du DPRC-R pourrait prochainement faire l’objet d’études de cas comparatives sur des territoires différents tels que la région de l’Île-de-France et l’Estuaire de la Gironde.

5. Discussion

La complexité des territoires urbains entrave la mise en œuvre de stratégies globales, pourtant, nécessaires à leur gestion [BLA 98]. Le modèle DPRC-R n’est qu’une représentation simplifiée, qui vise à appréhender cette complexité à l’interface risques-territoires.

Certaines limites méritent tout d'abord d'être soulignées. Le modèle proposé ici permet de générer plusieurs combinaisons, et par conséquent, plusieurs scénarios probables d'aléas sur un espace donné. En plus des incertitudes sur les événements futurs, ce modèle se heurte aux caractéristiques divergentes, selon le type d'aléa, en termes de probabilité, d'intensité ou de réversibilité [GAR 08] mais aussi en termes de degrés d'interférences naturelles et anthropiques [KAP 12]. Néanmoins, ce modèle peut être envisagé comme un cadre méthodologique commun pour identifier les risques pertinents et leurs interactions potentielles sur un territoire urbain. Certes qualitatif, le DPRC-R peut servir d'appui ou de support à des outils quantitatifs de cartographie à des échelles spatiales plus fines.

Ce modèle réunit les termes connexes au concept du risque. La notion d'aléa peut être approchée à travers les composantes (*Drivers*) et (*Pathways*) et celle de la vulnérabilité à travers les composantes (*Receptor*) et (*Consequences*). Une liste d'indicateurs de « vulnérabilité multi-aléas » peut orienter les politiques publiques en matière d'aménagement du territoire face à différents types de risques [GRE 06]. Quant à la composante (*Responses*), elle ouvre un angle d'analyse, et d'évaluation, des capacités des acteurs à influencer l'adaptation du territoire du prisme de la gestion des risques.

Construire des villes résilientes nécessite un cadre méthodologique global ayant une portée opérationnelle. Bien que les définitions de la résilience semblent être diverses et variées, elles renvoient toutes à la capacité d'un système (territoire) à rebondir face à l'adversité. Initialement conçu pour des analyses multirisques, le modèle proposé contribue désormais à la résilience générale.

La résilience spécifique est le résultat des approches mono-risques. Cette résilience qui caractérise la capacité de rebondir face à la réalisation d'un aléa précis est différente de la résilience générale du territoire [FOL 10]. L'analyse de la notion de la résilience, et son application, face aux inondations, se heurte aux politiques différentes spécialisées et invite à incorporer d'autres risques et d'autres enjeux [PIG 18]. La résilience d'un territoire est par nature globale. Si l'on admet la multiplicité des risques et leurs interactions avérées, un même territoire ne peut pas être à la fois résilient face à un risque et non résilient face à un autre. L'exemple des trois risques, qu'illustre la figure 4, montre que la résilience spécifique à un seul de ces risques n'aura de sens que si l'on y intègre les interactions possibles avec les autres risques existant. À la lumière de ce qui précède, on peut observer que le renforcement d'une résilience spécifique (vis-à-vis d'un seul risque) affecte, positivement ou négativement, la résilience générale du territoire face à d'autres risques. À la différence des approches mono-risques, un cadre méthodologique qui intègre en amont les trois types d'interactions entre des risques multiples ne peut que contribuer vers davantage de résilience générale que spécifique.

Une résilience générale passe, indispensablement, par un rapprochement des disciplines et des institutions qui la mobilisent. Si l'analyse d'un seul risque appelle à la prise en compte de facteurs (ou de paramètres) issus de plusieurs domaines/disciplines, les analyses multirisques font appel à davantage d'apports pluri et transdisciplinaires. En congruence avec le concept de la résilience, le DPRC-R proposé enrichit la transdisciplinarité par ses ramifications pluridisciplinaires. Le DPRC-R renferme des analyses multi-aléas, multi-enjeux, et multi-vulnérabilité sur un même espace géographique. Ce modèle qui prône une approche globale permet de décroïsonner les approches mono-risques pour instaurer des liens entre les domaines/disciplines spécifiques régissant la gestion actuelle. Pour des territoires résilients, former des liens entre les institutions, nombreuses, est primordial pour la gestion des crises et des imprévus [BOS 17]. La prise en compte des interactions via la gestion vise à converger les politiques urbaines en matière de risques sur les échelles communales, intercommunales, départementales ou régionales. Il est difficile aujourd'hui de percevoir une gestion des risques qui ne relate aucune transition entre des zones d'aléa faible avec des zones d'aléa fort, voire très fort [KER 06].

Des scénarios prospectifs contribuent à la résilience des territoires face aux événements futurs. La résilience n'est pas un concept exclusivement voué à la gestion des crises et des catastrophes. En pratique, la résilience vise à anticiper les crises pour éviter aux territoires urbains toute rupture ou

effondrement [TOU 15, TOU 12]. De ce point de vue, le développement de scénarios prospectifs multirisques accorde une meilleure prévention contre des événements imprévus et/ou extrêmes. Les modèles qualitatifs sont plus pertinents pour anticiper des scénarios que les modèles quantitatifs probabilistes jugent comme extrêmes ou rares » [ZEV 11].

Conclusion

Par ses approches et ses méthodes, la gouvernance des risques influence l'adaptation des territoires urbains aux changements. Les territoires urbains sont des systèmes complexes contraints d'intégrer les dynamiques des risques dans les objectifs de durabilité. À l'interface risques-territoires, les approches actuelles de la gestion des risques incarnent plutôt des réponses adaptatives qu'on peut qualifier de réactives. Ces réponses adaptatives, régies en amont par des approches segmentées et mise en œuvre par des institutions diverses et variées, ne garantissent pas la résilience générale.

Cet article présente une méthode de prise en compte des risques multiples pour éviter des événements catastrophiques. Cet article a permis d'élargir la notion d'« effets domino » et de nuancer certains de ses aspects particuliers. Dans l'objectifs de construire des villes résilientes, le recours à des approches globales s'accorde avec l'aspect fondamentalement systémique de la résilience. Le modèle DPRC-R propose un cadre méthodologique et conceptuel qui renforce la résilience générale des territoires face à des risques multiples. Assimilé à une plateforme transversale d'analyse et d'actions, ce modèle qualitatif permet de converger les réflexions et les synergies des praticiens de l'urbain et des risques. L'élaboration de « Plans Préventions Multirisques » serait un exemple de gestion intégrée favorisant la résilience générale.

Les territoires changent et se transforment sous l'effet des risques ou en lien avec des objectifs de développement. Le modèle que nous proposons permet de faire converger l'attention sur les aléas, les vulnérabilités et la résilience pour mieux cerner l'adaptation, réelle ou potentielle, des territoires face aux changements. Ce modèle laisse le champ libre aux questionnements scientifiques liés à sa portée opérationnelle et aux types de ville auxquelles il pourrait être appliqué. Ce modèle qui désectorise et décloisonne plusieurs domaines et disciplines investis à l'échelle urbaine pose également la question de la frontière de la ville résiliente en tant que « système ». Ce travail ouvre ainsi des perspectives de recherche autour de l'évaluation de la résilience générale via des indicateurs à l'interface des dynamiques des risques et des dynamiques urbaines. Ce cadre de la « résilience générale » du territoire peut-il offrir un nouveau regard pour concilier les politiques urbaines de développement et de durabilité ? À travers ce cadre, peut-on mieux entrevoir en zones urbains les opportunités de renouvellement/transformation associées au concept de la résilience ?

Références

- [BAR 13] Barroca B., DiNardo M., Mboumoua I. De la vulnérabilité à la résilience: mutation ou bouleversement?. *EchoGéo*, (24), 2013.
- [BEC 06] Beck E., Weber C., Granet M., « Etude multirisque en milieu urbain et SIG, le cas de l'agglomération de Mulhouse », in *Revue internationale de Géomatique*, volume 16, n° 3-4, *Information géographique et gestion des risques*, ed. Lavoisier, Paris, p. 395-414.
- [BLA 98] Blancher P., Risques et réseaux techniques urbains, CERTU, 170 p, 1998.
- [BIR 06] Birkmann J., Measuring vulnerability to promote disaster-resilient societies: Conceptual frameworks and definitions. *Measuring vulnerability to natural hazards: Towards disaster resilient societies*, vol. 1, p. 9-54, 2006
- [BOS 17] Boschetti, L., Provitolo D., Tric E., La modélisation conceptuelle comme aide à la construction de villes résilientes. Vol 1, n°1, ISTE Editions. 17 p, 2017
- [CAN 08] Cannon S. H., Gartner J. E., Wilson R. C., Bowers J. C., and Laber J. L., Storm rainfall conditions for floods and debris flows from recently burned areas in southwestern Colorado and southern California, *Geomorphology*, vol. 96, no(3), p. 250-269, 2008

- [CAR 01] Carpenter S., Walker B., Anderies J. M., et Abel N., From metaphor to measurement: resilience of what to what?. *Ecosystems*, vol. 4, no 8, p. 765-781, 2001
- [CHA 11] Chateauraynaud F., Sociologie argumentative et dynamique des controverses: l'exemple de l'argument climatique dans la relance de l'énergie nucléaire en Europe. *A contrario*, (2),p. 131-150, 2011
- [DAU 13] Dauphiné A., Provitolo D., Risques et catastrophes : observer, spatialiser, comprendre, gérer, Paris, A. Colin, 412 p. 2013
- [DEI 09] Deichmann N. and Giardini D., Earthquakes Induced by the Stimulation of an Enhanced Geothermal System below Basel (Switzerland). *Seismological Research Letters*,80(5). p.784-798, 2009
- [DEL 03] Delahaye D., Du ruissellement érosif à la crue turbide en domaine de grande culture: analyse spatiale d'un phénomène. *Bulletin de l'Association de géographes français*, vol. 80, no 3, p.287-301, 2003
- [DEL 06] Delmonaco G., Margottini C., Spizzichino D., Report on new methodology for multi-risk assessment and the harmonisation of different natural risk maps. Deliverable 3.1, ARMONIA, 2006
- [DER 05] D'Ercole R., Metzger P., Repenser le concept de risque pour une gestion préventive du territoire - *Pangea*, n°43-44, juin-décembre, p.19 -36, 2005
- [DER 10] De Richemond N. M., Reghezza M., La gestion du risque en France: contre ou avec le territoire?. In : *Annales de géographie*. Armand Colin, p. 248-267, 2010
- [DUR 12] Durand Frédéric., Réchauffement climatique: le Nord n'est pas moins concerné que le Sud. *Territoire en mouvement Revue de géographie et aménagement*. *Territory in movement Journal of geography and planning*, , no 14-15, p. 21-33, 2012
- [FAU 91] Faugères L., La géo-cindynique, géo-science du risque (Geo-cindynics, a science of risk management). *Bulletin de l'Association de Géographes français*, vol. 68, no 3, p.179-193, 1991
- [FIK 06] Fiksel J., Sustainability and resilience: toward a systems approach. *Sustainability: Science, Practice, & Policy*, 2(2), 2006
- [FOL 10] Folke C., S. R. Carpenter, B. Walker, M. Scheffer, T. Chapin, and J. Rockström., Resilience thinking: integrating resilience, adaptability and transformability. *Ecology and Society*, vol. 15, no 4, 20 p, 2010
- [GAI 06] Gaillard D., Delahaye D., et Langlois, P. (). Modélisation du ruissellement-érosif par automate cellulaire. Intérêts d'une approche déterministe du risque. *In Analyses et modèles*, 6 p, 2006
- [GAR 08] Garcin M., Desprats J. F., Fontaine M., Pedreros R., Attanayake N., Fernando S., Siriwardana C. H. E. R., De Silva U., et Poisson B., Integrated approach for coastal hazards and risks in Sri Lanka. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8, p.577-586, 2008
- [GIL 03] Gilbert C., *Risques collectifs et situations de crise. Apports de la recherche en sciences humaines et sociales*, 340p). L'Harmattan, 2003
- [GIL 14] Gill J. C., et Malamud B. D., Reviewing and visualizing the interactions of natural hazards. *Reviews of Geophysics*, vol. 52, no 4, p. 680-722, 2014
- [GIL 16] Gill J. C., et Malamud B. D. Hazard interactions and interaction networks (cascades) within multi-hazard methodologies. *Earth System Dynamics*, vol. 7, no 3, p. 659, 2016
- [GRE 06] Greiving S., Multi-risk assessment of Europe's regions. *Measuring Vulnerability to Natural Hazards: Towards Disaster Resilient Societies*, p210-26, 2006
- [GRI 14] Grislain-Letrémy C., Assurance et prévention des catastrophes naturelles et technologiques. *Vie & sciences de l'entreprise*, no 1, p. 60-81, 2014
- [GRI 07] Grivault C., et Barczak A., Évaluation multicritère de la vulnérabilité des territoires aux risques de transport routier de matières dangereuses: Une application à l'agglomération dijonnaise, 2007
- [HAL 03] Hall J. W., Evans E. P., Penning-Rowsell E. C., Sayers P. B., Thorne C. R., and Saul A. J., Quantified scenarios analysis of drivers and impacts of changing flood risk in England and Wales: 2030–2100. *Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards*, vol. 5, no 3-4, p. 51-65, 2003
- [HAR 16] Haraguchi M., Kim S., Critical infrastructure interdependence in New York City during Hurricane Sandy. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, 7(2), p. 133-143, 2016
- [IOV 11] Iovine G. G. R., Huebl J., Pastor M., Sheridan M. F., Outcomes of the Special Issue on Approaches to hazard evaluation, mapping, and mitigation. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11(9),p.2433-2436, 2011

- [IPC 14] IPCC: Summary for policymakers, in: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, edited by: Field, C. B., Barros, V. R., Dokken, D. J., Mach, K. J., Mastrandrea, M. D., Bilir, T. E., Chatterjee, M., Ebi, K. L., Estrada, Y. O., Genova, R. C., Girma, B., Kissel, E. S., Levy, A. N., MacCracken, S., Mastrandrea, P. R., and White, L. L., Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1–32, 2014.
- [LEO 06] Leone F., Vinet F. La vulnérabilité, un concept fondamental au cœur des méthodes d'évaluation des risques naturels. la «Vulnérabilité des sociétés et territoires face aux menaces naturelles», Ouvrage collectif sous la direction de Leone F. et Vinet F., Géorisques, 4, 2006
- [MON 14] Monbaliu J., Chen Z., Felts D., Ge J., Hissel F., Kappenberg J., Narayan S., Nicholls R.J., Ohle N., Schuster D., Sothmann J., Willems P. Risk assessment of estuaries under climate change: lessons from Western Europe. *Coast. Eng.* 87, p. 32-49, 2014
- [NAR 14] Narayan S., Nicholls R.J., Clarke D., Hanson S., Reeve D., Horrillo-Caraballo J.M., Trifonova E., Filipova-Marinova M., Kowalska B., Parda R., Hissel F., Willems P., Ohle N., Zanuttigh B., Losada I., Ge J., Penning-Rowsell E., Vanderlinden J.P., The SPR systems model as a conceptual foundation for rapid integrated risk appraisals: Lessons from Europe. *Coast. Eng.* 87, p. 15-31, 2014
- [PER 08] Perry R. W., et Lindell M. K. Volcanic risk perception and adjustment in a multi-hazard environment. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 172, no 3-4, p. 170-178, 2008
- [PES 15] Pescaroli, G., Alexander, D. A definition of cascading disasters and cascading effects: Going beyond the “toppling dominos” metaphor, *Planet@ Risk*, 3(1), 2015
- [PIG 12] Pigeon P., Paradoxes de l'urbanisation. Pourquoi les catastrophes n'empêchent-elles pas l'urbanisation ?, Paris, L'Harmattan, 278 p., 2012
- [PIG 15] Pigeon P., Risque digue: une justification à la relecture systémique et géopolitique des risques environnementaux. *L'Espace Politique. Revue en ligne de géographie politique et de géopolitique*, (24), 2015
- [PIG 18] Pigeon P., Rebotier J., Guézo B. Ce que peut apporter la résilience à la prévention des désastres: exemples en Lavours et en Chautagne (Ain, Savoie). In *Annales de géographie* (No. 1, pp. 5-28). Armand Colin, 2018
- [PLA 17] Plattard O., Repenser l'évacuation d'une population littorale dans un contexte multi-risque par la modélisation multi-agents. In *Spatial Analysis and GEomatics*, 2017
- [PRO 15] Provitolo D., Dubos-Paillard E., Verdière N., Lanza V., Charrier R., Bertelle C., Aziz-Alaoui M. A., Les comportements humains en situation de catastrophe: de l'observation à la modélisation conceptuelle et mathématique. *Cybergeog: European Journal of Geography.*, 2015
- [KAD 14] Kadri F., Modèles dynamiques probabilistes pour l'étude des séquences d'accidents sur site industriel, 2014
- [KAP 12] Kappes M. S., Keiler M., von Elverfeldt K., and Glade T., Challenges of analyzing multi-hazard risk: a review. *Natural hazards*, vol. 64, no 2, p. 1925-1958, 2012
- [KER 06] Kergomard C., ESPON/ORATE 1.3.1 Risques naturels et technologiques. Note de synthèse critique et applications à la France. Rapport UMS Riate, 22p, 2006
- [REG 09] Reghezza M., Géographes et gestionnaires face à la vulnérabilité métropolitaine. Quelques réflexions autour du cas francilien. In *Annales de géographie*, Armand Colin, No. 5, pp. 459-477, 2009
- [REG 15] Reghezza-Zitt M., Territorialiser ou ne pas territorialiser le risque et l'incertitude. La gestion territorialisée à l'épreuve du risque d'inondation en Île-de-France. *L'Espace Politique. Revue en ligne de géographie politique et de géopolitique*, (26), 2015
- [REG 17] Reghezza-Zitt M., Penser la vulnérabilité dans un contexte de globalisation des risques grâce aux échelles spatiales et temporelles. Espace populations sociétés. Space populations societies, (2016/3), 2017.
- [REN 15] Renard F., et Soto D., Une représentation du risque à l'intersection de l'aléa et de la vulnérabilité: cartographies des inondations lyonnaises. *Geographica Helvetica*, vol. 70, no 4, p333, 2015
- [ROC 14] Roche A., Baraer F., Le Cam H., Madec T., Gautier S., Gwénaële J. A. N., Goutx D. Projet VIMERS: une typologie des tempêtes bretonnes pour prévoir l'impact des tempêtes à venir et mieux s'y préparer. In Actes du colloque des XIIIe Journées Nationales Génie Côtier–Génie Civil, Dunkerque (pp. 2-4), 2014
- [SAV 03] Savoie P., Impacts du barrage des Trois Gorges sur le développement durable de la Chine. *VertigO-la revue électronique en sciences de l'environnement*, 4(3), 2003

- [SER 15] Serre D., Concevoir la résilience urbaine: un défi face à des complexités, 2015
- [SCH 06] Schmidt-Thomé P., and Kallio H., Natural and technological hazard maps of Europe, Special paper-geological survey of finland, vol. 42, p17, 2006
- [SMI 13] Smith K., Environmental hazards: assessing risk and reducing disaster. Routledge, 2013
- [SMY 15] Smythe T. C., 6 The impacts of Hurricane Sandy on the Port of New York and New Jersey. Climate Change and Adaptation Planning for Ports, p.74, 2015
- [TOU 15] Touili, N., Portfolio d'options pour le renforcement de la résilience: application de principes systémiques de résilience à la gestion des risques d'inondation en Gironde. *Vertigo-la revue électronique en sciences de l'environnement*, (Hors-série 23), 2015
- [TOU 12] Toubin M., Lhomme S., Diab Y., Serre D., et Laganier, R., La Résilience urbaine: un nouveau concept opérationnel vecteur de durabilité urbaine?. *Développement durable et territoires. Économie, géographie, politique, droit, sociologie*, vol. 3, no 1, 2012
- [TOU 17] Touili N., et Vanderlinden J. P., Flexibilité adaptative et gestion du risque: étude de cas des inondations dans l'estuaire de la Gironde (France). *Vertigo-la revue électronique en sciences de l'environnement*, 17(2), 2017
- [VAN 12] Vanoudheusden E., La modélisation des risques naturels géologiques–influence du contexte urbain. *COMMISSARIAT GÉNÉRAL AU DÉVELOPPEMENT DURABLE*, 133p, 2012
- [ZAI 18] Zaidi R. Z., Beyond the Sendai indicators: Application of a cascading risk lens for the improvement of loss data indicators for slow-onset hazards and small-scale disasters. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2018.
- [ZEV 11] Zevenbergen C., Cashman A., Evelpidou N., Pasche E., Garvin S. L., and Ashley R.: Urban Flood Management, London, UK, Taylor and Francis Group, 2011