LES RÉSEAUX TECHNIQUES COMME VECTEURS DE DISTRIBUTION DES RISQUES EN MILIEU URBAIN

Une contribution théorique et pratique à l'analyse de la résilience urbaine

par Serge Lhomme

École des ingénieurs de la ville de Paris,
80 rue Rébéval, 75019 PARIS
serge.lhomme@eivp-paris.fr

1 Contexte et objectif général : analyser la résilience urbaine

En France, jamais autant de populations et de richesses n'ont été exposées aux inondations (Ledoux, 2005). Cette augmentation s'explique en partie par le développement urbain en zone inondable, conjugué à une augmentation de la valeur des biens des ménages et des entreprises (Laporte, 2009). C'est pourquoi les conséquences économiques des catastrophes futures devraient dépasser celles des catastrophes passées. Par exemple, le coût d'une inondation en région parisienne, équivalente à celle de 1910 serait aujourd'hui environ 10 fois supérieure, représentant environ 17 milliards d'euros de dommages (Reghezza, 2006). Et pourtant, jamais les outils réglementaires n'ont été aussi complets afin de prévenir ces risques, notamment par la régulation de l'occupation des sols dans les zones exposées (Ledoux, 2005 ; Vinet, 2010). Parallèlement, les budgets consacrés à la prévision, à la prévention et à la protection, n'ont jamais été aussi importants. Ainsi, en matière de gestion des inondations, l'impression est souvent celle d'un échec perpétuel, comme si les efforts de prévention ne pouvaient compenser l'augmentation avérée des risques (Vinet, 2010).

Dans les faits, la gestion des inondations doit faire face à des défis nouveaux. Par exemple, les gestionnaires sont confrontés à la prise en compte d'incertitudes croissantes, comme celles liées à l'évolution climatique dont les effets sont encore assez méconnus sur les phénomènes hydrauliques. Dans le même temps, les ruptures de certains systèmes de protection censés protéger les populations ont finalement contribué à augmenter les impacts de certaines catastrophes. Les gestionnaires sont dès lors à la recherche de concepts opérationnels nouveaux, permettant de tenir compte de contraintes économiques, historiques, culturelles et sociologiques, afin d'établir in fine des politiques de gestion des risques efficaces, jugées acceptables par l'ensemble des parties prenantes. Dans ce contexte, l'émergence du concept de résilience dans les cindyniques suscite des attentes opérationnelles importantes.

La gestion des risques d'inondation se situe donc entre un certain constat d'échec, des défis anciens ou nouveaux à relever et une volonté de changement marquée notamment par l'introduction de nouvelles stratégies de prévention. Ces nouvelles stratégies, en certains aspects, cherchent à améliorer les conditions favorisant une meilleure résilience. Or, comme les politiques actuellement menées s'orientent en priorité vers les espaces urbanisés, l'amélioration de la résilience urbaine semble être progressivement présentée dans certains discours comme un impératif (Reghezza et al., 2012). Cependant, quelle que soit la portée opérationnelle du concept, la résilience est un concept scientifique qui ne peut pas être abordé seulement par sa mise en pratique.

Quoi qu'il en soit, la résilience est « à la mode » aussi bien chez les gestionnaires que chez les scientifiques. Ce recours croissant au concept de résilience peut être interprété comme émanant d'un besoin croissant de résilience dans des sociétés technologiques qui deviendraient de plus en plus complexes et vulnérables (Boin *et al.*, 2010). L'omniprésence de la résilience interroge alors sa pertinence. En effet, l'utilisation abondante du concept, en particulier dans

les sciences sociales, ne s'accompagne pas toujours, loin s'en faut, d'un socle théorique solide (Brand et Jax, 2007). Le terme devient une sorte de mot valise sollicité à des fins très diverses, à l'instar d'autres notions en vogue (durabilité, gouvernance, etc.) qui lui sont d'ailleurs souvent attachées (Aschan, 2000 ; Gallopin, 2006).

Dans ce contexte, le développement de méthodologies et d'outils permettant d'améliorer la résilience urbaine face aux inondations se révèle être un véritable défi. Cette recherche se place précisément dans le cadre général de mon étude. Elle vise ainsi à élaborer une méthodologie et à développer des outils permettant d'analyser la résilience urbaine face aux risques d'inondation.

2 Méthodologie : analyser la résilience des réseaux techniques, un préalable nécessaire mais non suffisant

Pour répondre à cet objectif général, cette recherche se focalise plus précisément sur l'analyse de la résilience des réseaux techniques. En effet, dans les retours d'expérience consécutifs à différentes inondations, il apparaît que les réseaux techniques sont vulnérables à cet aléa (MEDD, 2005). De plus, leurs dysfonctionnements perturbent fortement le fonctionnement de nos sociétés contemporaines. Ainsi, les réseaux techniques constituent ce qu'il devient courant de nommer des « infrastructures critiques » (Yusta *et al.*, 2011). Cette thèse postule alors que l'analyse de la résilience des réseaux techniques constitue un préalable nécessaire, mais non suffisant, à la mise en place de politiques d'amélioration de la résilience urbaine face aux inondations.

Au-delà de ces aspects purement pratiques, l'intérêt particulier pour les réseaux techniques se justifie d'un point de vue théorique. En effet, la résilience apparaît comme un concept polysémique et pluridisciplinaire difficile à appréhender. Néanmoins, en se fondant sur une analyse épistémologique de la résilience, une certitude émerge : la résilience étudie des systèmes (des écosystèmes, des systèmes économiques, des systèmes sociaux...). Pour appliquer le concept de résilience à la ville, il est donc nécessaire de considérer la ville comme un système. Or, dans ce système, les réseaux techniques se révèlent être le support des relations entre les différents composants du système urbain (entreprises, habitants, productions…). Les réseaux techniques alimentent, solidarisent et irriguent l'ensemble des composants des territoires urbains. *Ipso facto* la rupture de ces réseaux implique l'isolement de certains composants et par conséquent une remise en question du fonctionnement du système urbain. On en déduit que ces réseaux jouent un rôle essentiel dans les mécanismes de diffusion du risque (entre les différents composants urbains) et dans les mécanismes de remise en service du système urbain. Dans ce cadre, l'existence et la persistance du système « ville » sont subordonnées à l'existence et à la persistance du fonctionnement des réseaux techniques. C'est alors par les réseaux que se règle (ou se dérègle) le fonctionnement des villes.

C'est pourquoi, cette recherche s'est focalisée sur le développement d'une méthodologie permettant d'analyser la résilience des réseaux techniques. Cette méthodologie doit de surcroît s'accompagner des outils permettant de la rendre opérationnelle. Cependant, l'analyse de la résilience des réseaux techniques n'est pas suffisante pour analyser la résilience urbaine. Ainsi, afin d'analyser la résilience urbaine, il a été proposé d'analyser la répartition des enjeux majeurs vis-à-vis de la résilience des réseaux techniques. Quoi qu'il en soit, l'analyse des réseaux techniques ne peut à elle seule rendre compte de toute la complexité du fonctionnement urbain, ni des multiples représentations attachées à la ville.

3 Développements : un prototype web-SIG pour analyser la résilience des réseaux techniques

La méthodologie développée dans cette thèse pour analyser la résilience des réseaux techniques se fonde directement sur la définition retenue de la résilience. Cette méthodologie repose alors sur l'analyse de trois capacités : la capacité de résistance, la capacité d'absorption et la capacité de récupération. L'analyse de la capacité de résistance consiste à identifier les endommagements consécutifs à une inondation et les perturbations induites par ces endommagements. L'analyse de la capacité d'absorption ambitionne d'évaluer la redondance des réseaux techniques. Enfin, l'analyse des capacités de récupération contribue à évaluer la remise en service des réseaux perturbés, en se focalisant sur l'accessibilité des endommagements vis-à-vis des centres en charge de leur remise en service. Ces choix méthodologiques ont nécessité des développements concernant l'analyse structurelle des réseaux techniques, la modélisation des interdépendances entre les réseaux techniques et l'analyse de la remise en service des réseaux techniques.

Pour rendre cette méthodologie pleinement opérationnelle, le développement d'un système informatique s'est révélé nécessaire. En effet, l'application de cette méthodologie requiert des capacités de cal-

cul assez importantes. Par conséquent, l'automatisation de celle-ci au sein d'un système informatique constituait un impératif. Plus précisément, il s'est trouvé nécessaire de développer un système d'information géographique (SIG). En effet, l'ensemble de la méthodologie développée requiert de l'analyse spatiale. De plus, pour passer d'une analyse de la résilience des réseaux techniques à une analyse de la résilience urbaine, il a été proposé d'analyser le positionnement des enjeux majeurs en fonction de la résilience des réseaux, impliquant une nouvelle fois des méthodes d'analyses spatiales. Or, ces analyses spatiales, qui concernent aussi bien l'analyse des réseaux techniques (analyse structurelle des réseaux, analyse de la répartition des endommagements…) que des aspects plus généraux (synthèse des résultats, étude de la répartition des enjeux majeurs …), requièrent l'utilisation de SIG. Cet outil SIG se veut à destination des collectivités territoriales qui souhaitent analyser la résilience de leur territoire.

Finalement, il a été choisi de développer un outil Web-SIG et non un SIG bureautique classique. En effet, la volonté était de créer un outil offrant des standards interopérables et ne limitant pas les développements informatiques à un outil SIG bureautique particulier. Ce choix peut alors permettre aux différentes collectivités d'utiliser cet outil sans avoir à télécharger un système supplémentaire, d'exploiter les résultats de l'outil avec leur propre SIG, puis éventuellement de les partager avec d'autres collectivités ou d'autres acteurs. De plus, ce choix s'explique par le cadre dans lequel ces recherches ont été effectuées. En effet, ces recherches sont notamment le fruit de réflexions menées dans le cadre du projet FloodResilienCity. Ce projet européen (Interreg) regroupe huit villes du nord-ouest de l'Europe. Une solution web est alors apparue intéressante, car cette solution permettait d'envisager la mise en place d'une plateforme commune. Ainsi, pour ce type de projets, qui met notamment en avant une collaboration transnationale, la mutualisation possible des données permise par une application web semble pertinente.

Le prototype développé est fondé autour des trois capacités définies précédemment. Ces trois capacités peuvent être analysées indépendamment avant d'être éventuellement synthétisées. L'outil répond plus précisément à trois fonctions principales : utiliser des données pouvant être accessibles à des collectivités ; incorporer une méthodologie d'analyse de la résilience des réseaux techniques ; communiquer les résultats. Chacune de ces fonctions a été détaillée en fonctions techniques et des solutions techniques ont été retenues afin de les satisfaire. Ainsi, à partir des différentes solutions retenues, une architecture générale a pu être définie (fig. 1). Trois serveurs constituent la structure de l'outil : le serveur de base de données PostgreSQL (et sa composante géographique Postgis), le serveur web Apache et le serveur cartographique Mapserver. Ces trois serveurs peuvent être interrogés par un navigateur Internet à l'aide du client cartographique OpenLayers, ou bien à partir d'un SIG bureautique classique à l'aide de requêtes WMS et WFS.

4 Application : la ville de Dublin face aux inondations

Dublin est une capitale en plein essor économique. Ce développement économique, qui s'accompagne d'une croissance démographique importante, pose certains défis techniques à la collectivité de Dublin et à l'ensemble de sa région. Ainsi, le réseau routier est saturé et le réseau d'assainissement opère à pleine capacité. Dans le même temps, la ville de Dublin est fortement exposée aux inondations. Dans les faits, la ville de Dublin peut être considérée comme un « cas d'école » en matière de problématiques liées à la gestion des inondations en milieu urbain, puisque d'une part ce territoire concentre un ensemble assez diversifié de sources d'inondations et d'autre part elle doit faire face à un développement urbain continu exerçant une pression continue sur les zones inondables. Ainsi, la ville de Dublin a connu trois événements majeurs en l'espace de dix ans. C'est pourquoi, le Dublin City Council mène une politique volontariste afin d'améliorer la résilience de son territoire. Les gestionnaires de la ville de Dublin se sont alors montrés intéressés par la méthodologie et l'outil développés pour analyser la résilience de leur territoire.

Cette analyse a été effectuée à partir d'un aléa d'origine : une inondation côtière bicentennale (probabilité de 1/200 de se produire chaque année). En effet, compte tenu des effets probables du changement climatique, les inondations côtières mobilisent en partie l'attention des gestionnaires dublinois. De plus, cet aléa touche une partie du centre-ville historique de Dublin, ce qui préoccupe énormément les gestionnaires. Si les informations géographiques concernant deux réseaux techniques ont pu être fournies (assainissement et électricité), ces données ne contenaient pas d'informations sur la vulnérabilité des composants de ces réseaux aux inondations.

C'est pourquoi, il s'est révélé nécessaire d'émettre des hypothèses afin de simuler les conséquences éventuelles d'une crue côtière bicentennale sur ces réseaux techniques. Les hypothèses les plus pertinentes ont alors été regroupées. Ainsi, elles sont à

l'origine de deux scénarios. Le premier scénario est considéré comme le scénario « principal », car il s'appuie directement sur les retours d'expérience des inondations passées à Dublin (le réseau d'assainissement est alors considéré comme très vulnérable et le réseau électrique comme peu vulnérable). Le second scénario est considéré comme le scénario « alternatif », car il s'appuie sur une analyse critique du premier scénario et sur une connaissance générale de la vulnérabilité des réseaux techniques aux inondations (le réseau d'assainissement est alors considéré comme ponctuellement vulnérable et le réseau électrique comme globalement vulnérable).

Dans un premier temps, les deux scénarios envisagés ont mis en exergue les problématiques liées au dysfonctionnement du réseau d'assainissement de la ville de Dublin (fig. 2). Puis dans un deuxième temps, diverses répartitions d'enjeux majeurs ont été analysées afin d'appréhender en partie la résilience du territoire étudié. Ainsi, les répartitions de certains enjeux majeurs « reconnus » (par exemple : les hôpitaux, les casernes de pompiers) et de certains enjeux caractéristiques d'une capitale ont été analysées (par exemple : les ministères, les ambassades). Il apparaît que si les différents enjeux analysés se concentrent en dehors des zones inondées, peu de ces enjeux seront épargnés par les dysfonctionnements du réseau d'assainissement.

La politique menée par les gestionnaires de la ville de Dublin conjugue des stratégies classiques de protection contre les inondations et des stratégies plus innovantes (gestion à l'échelle du bassin versant, aménagement urbain spécifique dans certaines zones, volonté de maintenir inondés des parcs et des rues afin de diminuer l'aléa dans des espaces jugés plus sensibles). Néanmoins, si de nombreuses actions ont été entreprises pour faire face aux inondations, elles ne prennent pas en considération le fonctionnement général du territoire dublinois. En effet, la politique de gestion menée par les gestionnaires de la ville de Dublin est centrée sur la gestion de l'aléa. D'ailleurs, les gestionnaires ne s'appuient pas, à proprement dit, sur des cartes de risques pour leur politique de gestion des inondations, mais sur des cartes d'aléas. Pour les gestionnaires, il semblerait ainsi que les espaces éloignés des zones inondables soient des lieux sûrs. Dans cette vision, le risque et la nécessité de protection associée sont ainsi inversement proportionnels à la distance de la zone d'aléa. La politique menée se limite donc presque exclusivement aux zones inondables. Or, la relation entre risques et territoires, bien qu'évidente, se révèle complexe. C'est précisément ce que montre l'analyse réalisée, avec des enjeux majeurs qui, bien que situés en dehors de la zone inondée, seront *in fine* impactés indirectement par l'inondation.

Conclusion

Cette recherche rigoureuse d'un point de vue théorique (définition précise du concept de résilience, définition d'un cadre méthodologique solide…) s'est aussi voulue soucieuse de trouver des applications pratiques (développement d'une méthodologie et d'un prototype SIG appliqués à la ville de Dublin). De nombreux aspects peuvent néanmoins encore être améliorés comme la modélisation de la dynamique des flux au sein des réseaux techniques, la prise en compte des aspects probabilistes et temporels en matière de modélisation des interdépendances entre réseaux techniques, la prise en considération des aspects organisationnels pour modéliser la remise en service des réseaux techniques… Toutes ces limites constituent en fait autant de pistes pour des recherches futures.

Bibliographie

Aschan-Leygonie C., 2000, « Vers une analyse de la résilience des systèmes spatiaux », *L'espace géographique*, n°1, p. 67-77.

Boin A., Comfort L. K., Demchak C. C., 2010, « The rise of resilience », dans *Designing Resilience. Preparing fo Extrem Events*, ed. Comfort L. K., Boin A., Demchak C., Pittsburgh, University of Pittsburgh Press, p. 13-32.

Brand F. S., Jax K., 2007, « Focusing the meaning(s) of resilience : resilience as a descriptive concept and a boundary object », *Ecology and Society*, *12*(1).

Gallopin G. C., 2006, « Linkages between vulnerability, resilience and adaptive capacity », *Global Environmental Change, 16*(3), p. 293-303.

Laporte V., 2009, « Croissance du nombre de logements en zones inondables », *Le point sur*, Commissariat général au développement durable, n°6, 4 p.

Ledoux B., 2005, *La gestion du risque inondation*, Tec et Doc, 2005, 770 p.

MEDD (Ministère de l'Environnement et du développement durable), 2005, *Réduire la vulnérabilité des réseaux urbains aux inondations*, 116 p.

Reghezza M., 2006, *Réflexions sur la vulnérabilité métropolitaine. La métropole parisienne face au risque de crue centennale*, Thèse de doctorat, Université Paris X - Nanterre.

Reghezza M., Rufat S., Djament-Tran G., Leblanc A., Lhomme S., 2012, « What resilience is not : Resilience use and abuse », *Cybergeo*.

Vinet F., 2010, ***Le risque inondation, diagnostic et gestion*,** Éditions Tec & Doc Lavoisier, coll. « Science du Risque et du Danger (SRD) », 318 p.

Yusta J. M., Correa G. J., Lacal-Arántegui R., 2011, « Methodologies and applications for critical infrastructure protection: State-of-the-art », *Energy Policy, 39*(10), p. 6100-6119.

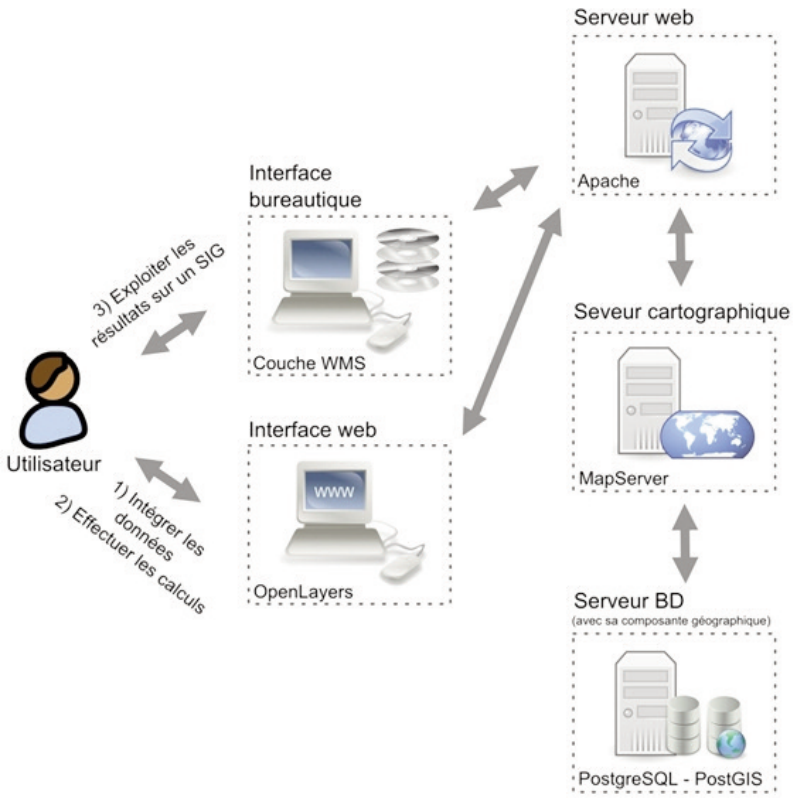

Figure 1 : L'architecture du web-SIG

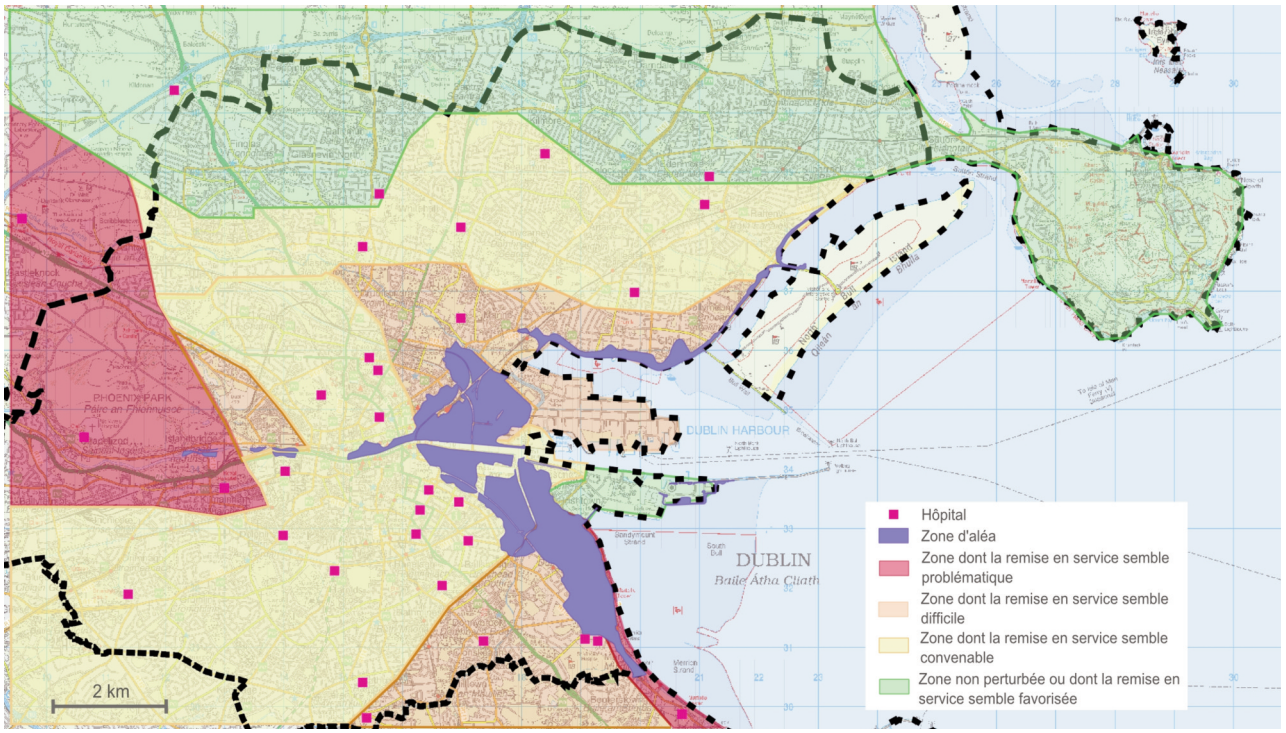

Figure 2 : Répartition des hôpitaux de la ville de Dublin vis-à-vis des problématiques de remise en service du réseau d'assainissement