

Mobilisation de l'analyse fonctionnelle pour l'étude de la résilience des quartiers et des systèmes de transport guidé face au risque inondation

■ M. GONZVA^{1,2}, M. BALSELLS^{3,4}, B. BARROCA¹

Mots-clefs : résilience, analyse fonctionnelle, inondation, aménagement des quartiers, conception des systèmes de transport

Keywords: resilience, functional analysis, flood, neighbourhoods design, transport systems design

Introduction

La perspective d'un changement climatique combinée à la concentration des biens et des personnes en milieu urbain laisse présager des événements dévastateurs pour les années à venir [SERRE *et al.*, 2012]. Les changements climatiques semblent de surcroît avoir un rôle amplificateur sur les risques naturels qui doivent alors être réexaminés en fonction de cette nouvelle donne climatique [QUENAULT, 2013]. Parmi ces risques naturels, le risque inondation apparaît comme l'un des plus catastrophiques, car le plus fréquent parmi toutes les catastrophes naturelles⁵. Pour illustration, en France, un habitant sur quatre et un emploi sur trois sont en effet potentiellement exposés au risque d'inondation [MEDDE, 2012]. Lors d'événements climatiques intenses, les systèmes de transport ont montré leur sensibilité au travers d'incidents nombreux [OSLAKOVIC STIPANOVIC *et al.*, 2013]. En outre, les quartiers urbains sont aussi affectés par ces incertitudes et ces risques. Or leurs nombreuses interactions de dépendances et d'interdépendances avec les autres échelles spatiales urbaines

(territoires, villes, etc.) rendent encore plus difficile la gestion des risques naturels [BALSELLS *et al.*, 2013a], en particulier celle du risque inondation.

Du côté de la recherche scientifique, depuis le milieu des années 2000, le concept de « résilience » véhicule une nouvelle manière d'analyser le risque. Dans ce concept, le risque est appliqué à différentes échelles spatiales et temporelles [SERRE, 2011], d'une part, et selon une approche systémique d'autre part. La résilience est ainsi vue comme la capacité d'un système à absorber le changement et à persister au-delà d'une perturbation [BARROCA *et al.*, 2013]. Dans cette communication, nous nous intéressons à l'étude de la résilience urbaine face au risque d'inondation à l'échelle locale du quartier. Cette recherche porte spécifiquement sur la résilience face au risque d'inondation des quartiers et des systèmes de transport, deux systèmes physiquement et fonctionnellement imbriqués. L'enjeu est de déterminer comment le fonctionnement technique de composants urbains structurants tels que les systèmes de transport s'intègre dans le fonctionnement technique des quartiers en contribuant globalement à la résilience des villes face à des risques d'inondation.

1. Résilience urbaine face au risque d'inondation

1.1. Émergence de la résilience dans la gestion des risques d'inondation en milieu urbain

Compte tenu de l'actuelle situation concernant les catastrophes naturelles et les perturbations sociales

¹ Université Paris-Est Marne-la-Vallée, Lab'Urba (ex-LEESU) – Département génie urbain – 6-8, av. Blaise-Pascal – Cité Descartes – Champs-sur-Marne – 77455 Marne-la-Vallée cedex 2 – France.
Courriel : bruno.barroca@u-pem.fr

² Sysstra – 72, rue Henry-Farman – 75015 Paris – France.
Courriel : mgonzval@sysstra.com

³ Université de Mons – Faculté d'architecture et d'urbanisme – Place du Parc 23 – 7000 Mons – Belgique. Courriel : mireia.balsells@umons.ac.be

⁴ Université Paris-Est – École des ingénieurs de la Ville de Paris – 78-80, rue Rébeval – 75019 Paris – France. Courriel : mireia.balsells@eivp-paris.fr

⁵ EM-DAT : The OFDA/CRED International Disaster Database – www.emdat.be

qui affectent les systèmes urbains, la résilience urbaine est présentée comme un moyen par lequel les systèmes urbains peuvent faire face à des chocs inattendus et atteindre la durabilité au fil du temps [TOUBIN *et al.*, 2014]. En effet, il apparaît qu'« améliorer la résilience augmente les chances d'un développement durable dans un environnement changeant où le futur est imprévisible et la surprise est probable⁶ » [FOLKE *et al.*, 2002]. Dans ce contexte, la résilience est clairement reconnue comme un nouveau paradigme dans la gestion des risques d'inondation permettant, en définitive, de faire face à des environnements complexes [LHOMME *et al.*, 2013]. Ainsi, la perturbation n'est plus uniquement considérée comme un événement négatif mais révèle également des mécanismes inconnus et joue un rôle important dans le fonctionnement, l'évolution et l'adaptation du système urbain. C'est à partir de cette différence que la résilience représente un changement concernant les stratégies traditionnelles de gestion des risques d'inondation qui sont essentiellement fondées sur la réduction de la vulnérabilité *via* des mesures de résistance, de protection. La résilience offre une approche plus globale que la réduction de vulnérabilité en considérant les interactions entre les systèmes urbains et notamment leur emboîtement physique et fonctionnel.

1.2. Opérationnalité de la résilience urbaine face au risque d'inondation

Bien que la résilience urbaine permette de dépasser conceptuellement et méthodologiquement les analyses sectorielles comme nous l'avons vu, il est difficile de rendre le concept opérationnel, car il donne lieu à de multiples traductions en matière de problématique et de développement méthodologique [TOUBIN *et al.*, 2012]. En effet, les actions visant à la mise en œuvre ou à l'évaluation opérationnelle de celle-ci sont encore limitées [BARROCA *et al.*, 2012]. Néanmoins, en ce qui concerne la gestion des risques d'inondation en milieu urbain, toujours dans une approche théorique, plusieurs études et projets de

recherche visant à rendre opérationnelle la résilience urbaine face au risque d'inondation peuvent être identifiés [BALSELLS *et al.*, 2015]. En utilisant des approches diverses selon les différentes dimensions urbaines et échelles spatiales concernées, ces travaux ont pour objectif principal de développer des outils (modèles, attributs, indicateurs, etc.) et des méthodes pour analyser et/ou évaluer la résilience urbaine face au risque d'inondation. L'objectif second de ces travaux est d'intégrer ce concept dans les pratiques urbaines actuelles. Il ressort de la tendance suivante : à ce jour, il n'existe pas – ou peu – de références identifiées concernant des études centrées sur l'opérationnalisation de la résilience face au risque d'inondation d'une manière holistique à l'échelle spécifique du quartier.

La méthode de l'analyse fonctionnelle (AF) issue de la « sûreté de fonctionnement » est mobilisée, appliquée à chacun de ces deux systèmes urbains. Pour appliquer l'AF, nous montrons dans cette communication qu'il s'avère nécessaire de choisir une granularité pertinente de travail, qui correspond ici à une échelle locale, le quartier. Cette double modélisation fonctionnelle permet de démontrer l'imbrication fonctionnelle des deux systèmes étudiés et offre alors l'opportunité de déterminer leur fonctionnement en situation de crise : lorsqu'une inondation survient. En effet, en situation d'aléa, il est possible, d'une part, d'avoir une meilleure compréhension de la cause exacte du dysfonctionnement du système de transport guidé (le système « imbriqué ») et, d'autre part, une meilleure compréhension des conséquences du dysfonctionnement sur le quartier (le système « imbriquant »). Cette imbrication fonctionnelle est d'autant plus essentielle à mettre en évidence dans la mesure où une défaillance de l'un ou de l'autre des systèmes urbains peut entraîner un effet domino difficile à prédire, pouvant ainsi engendrer des conséquences néfastes pour la société ou pour l'environnement [ROBERT et MORABITO, 2009].

L'enjeu est ainsi d'examiner comment l'AF, lorsqu'elle est appliquée jusqu'à une certaine échelle urbaine et à certains systèmes urbains physiquement imbriqués, peut-elle apporter une meilleure compréhension de la résilience face au risque inondation des quartiers, et donc des villes.

⁶ « Managing for resilience enhances the likelihood of sustaining development in changing environments where the future is unpredictable and surprise is likely. »

2. Méthodes de sûreté de fonctionnement : l'analyse fonctionnelle

2.1. Analyse fonctionnelle et applications en génie urbain

Les méthodes de la sûreté de fonctionnement ont été développées à l'origine pour étudier des systèmes industriels au fonctionnement complexe [VILLEMEUR, 1998]. Or, depuis un certain nombre d'années, des travaux de recherche appliquée mobilisent ces méthodes pour la modélisation du fonctionnement de systèmes complexes de type urbain. Parmi ces méthodes existe l'analyse fonctionnelle qui est une des plus utilisées en sûreté de fonctionnement. Elle permet de modéliser le fonctionnement de systèmes complexes à partir de deux analyses dépendantes l'une de l'autre : une analyse structurelle et une analyse fonctionnelle. L'analyse structurelle permet de définir les relations des différents composants du système pour formuler, dans l'analyse fonctionnelle, les fonctions de chaque composant. Deux outils sont alors mis en œuvre pour représenter le système : le bloc-diagramme fonctionnel (BdF) et le tableau d'analyse fonctionnelle (TAF) [ZWINGELSTEIN, 1996].

Cette méthode a été appliquée dans plusieurs travaux de génie urbain (figure 1), car elle est un outil préa-

lable puissant pour déterminer le modèle de fonctionnement, et donc de dysfonctionnement, de systèmes complexes lorsqu'ils font face à une crise. Préalable en effet, car l'AF peut être notamment associée à l'analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE). L'AF permet ainsi d'étudier la résilience de systèmes tels que les digues [SERRE, 2005 ; VUILLET, 2012], les réseaux techniques urbains [LHOMME, 2012] ou encore le service de gestion des déchets [BÉRAUD, 2013] face à l'aléa naturel d'inondation. D'autres applications en génie urbain existent, non nécessairement associées à la résilience urbaine. Citons les travaux de PEYRAS [2009] sur les barrages, de ALLAIRE [2012] sur les performances énergétiques de bâtiment, de CORREC [2005] sur les installations d'eau à l'intérieur des bâtiments, de ALARD et coll. [2013] sur le traitement des eaux ou encore de VALADAS [2003] sur les routes.

2.2. Applications de l'analyse fonctionnelle aux systèmes étudiés

2.2.1. Analyse fonctionnelle d'un quartier

Un quartier est une fraction du territoire d'une ville, dotée d'une physionomie propre et caractérisée par des traits distinctifs lui conférant une certaine unité et une individualité [MERLIN et CHOAY, 2000]. Lorsque

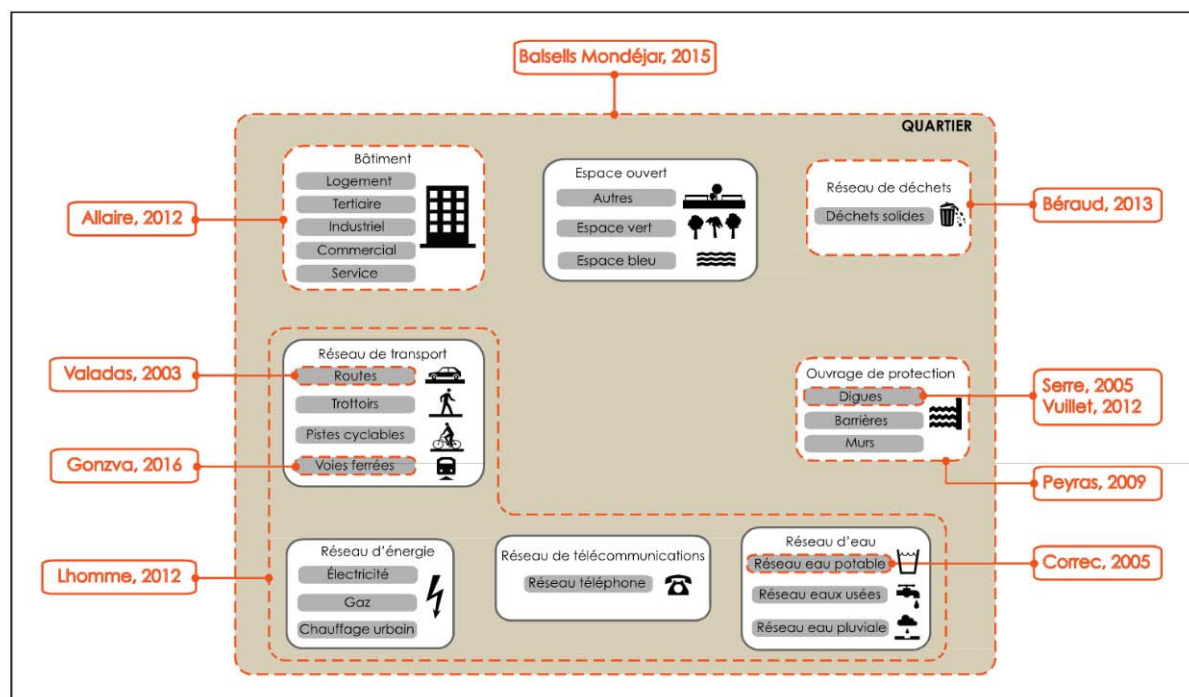


Figure 1. Références d'application de l'analyse fonctionnelle en génie urbain

des fonctions spécifiques sont représentées dans un quartier, des activités, des flux et par conséquent des dynamiques urbaines peuvent être identifiées. Ce travail de modélisation des systèmes urbains, déjà assez bien couvert à l'échelle de la ville [DE ROSNAY, 1975 ; CAMBIEN, 2008 ; LHOMME, 2012], apparaît aussi possible à l'échelle du quartier. En effet, un quartier peut être considéré comme un système ouvert, complexe, lequel est caractérisé par des processus d'échange avec son environnement, et en constante évolution et développement.

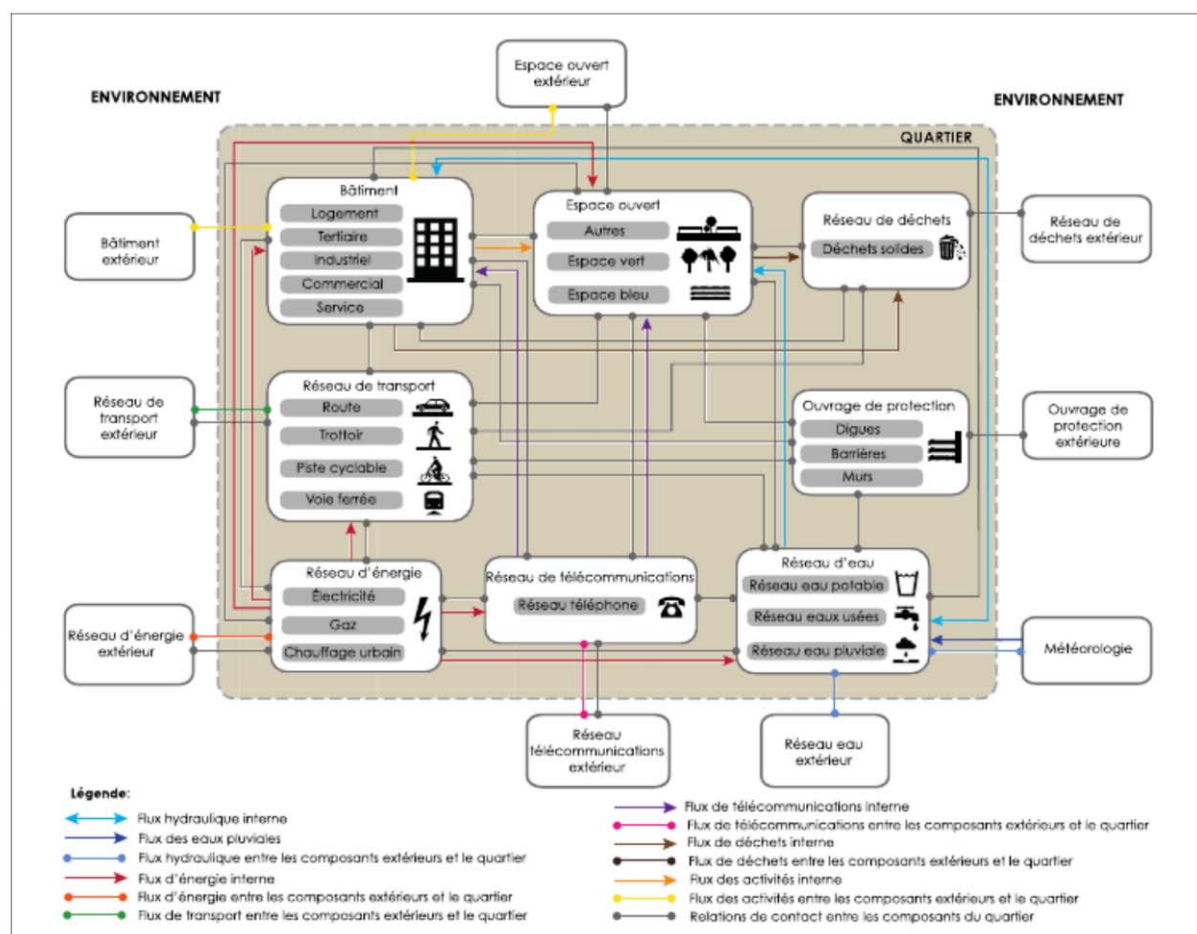
L'AF d'un quartier correspond ici précisément à l'analyse des fonctions d'ordre technique assurées par les systèmes d'un quartier, par opposition à des fonctions d'ordre plutôt sociétal (se loger, se nourrir ou travailler) qu'assure aussi un quartier. Pour réaliser l'AF d'un quartier, il est nécessaire d'abord de fixer le niveau de granularité spatiale adapté aux besoins de l'étude. Qualitativement, trois niveaux urbains peuvent être identifiés : un niveau *macro* (le système

urbain étudié), un niveau *méso* (les composants du système étudié) et enfin un niveau *micro* (les sous-composants et matériaux des composants du niveau macro). Pour effectuer la description détaillée d'un quartier et de son fonctionnement, le rang intermédiaire *méso* paraît adapté et permet de focaliser l'analyse sur les fonctions assurées par chaque composant d'un quartier.

Ensuite, l'analyse structurale du quartier précise et liste les composants du quartier pour déterminer, durant l'analyse fonctionnelle, les interactions avec les autres composants. Ces interactions internes entre les composants et externes avec l'environnement sont représentées au moyen d'un BdF (figure 2).

2.2.2. Analyse fonctionnelle d'un système de transport

Le second système urbain qui fait l'objet d'une AF est le système de transport guidé. Les systèmes de transport guidé urbains concernent [CERTU, 2007] :

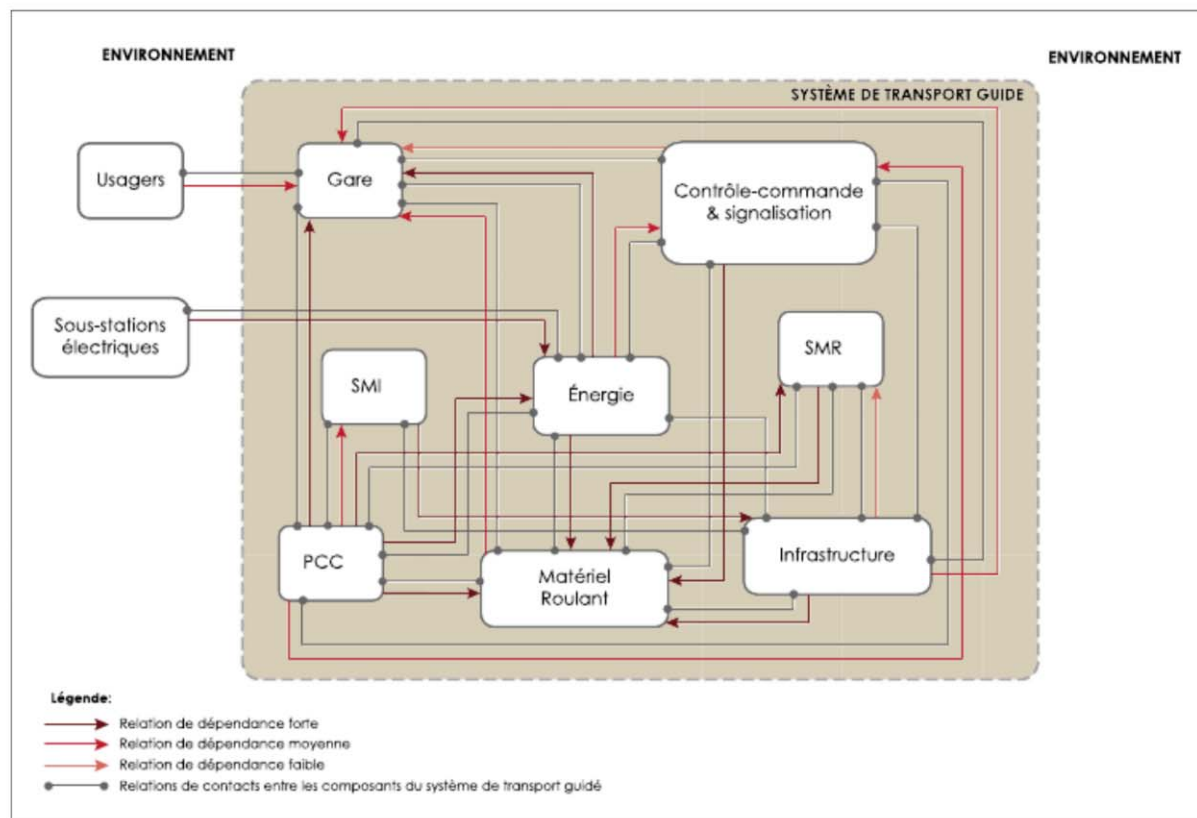


- les métros, en site propre intégral et généralement souterrains, en conduite manuelle, automatique ou automatique légère ;
- les tramways, caractérisés par des véhicules ferroviaires (roulement fer sur fer) qui circulent majoritairement sur la voirie urbaine et sont exploités en conduite à vue ;
- les systèmes guidés sur pneus, caractérisés par un roulement sur pneus et un guidage par rail central, par caméra ou magnétique.

Dans un premier temps, l'analyse structurelle permet de déterminer les composants du système et les éléments de son environnement. Ces derniers sont établis à partir des spécifications techniques d'interopérabilité (STI), directives européennes relatives à l'interopérabilité du système ferroviaire européen. Dans cette optique, les STI forment un découpage du système ferroviaire qui sert de base à la décomposition du système étudié, complétée par d'autres composants considérés comme nécessaires au fonctionnement d'un système de transport guidé. Le système

se divise ainsi en huit composants [GONZVA *et al.*, 2014] :

- contrôle-commande et signalisation : permet de garantir la circulation des trains en toute sécurité ;
- énergie : correspond à la fourniture en énergie de traction du matériel roulant ;
- gare ;
- infrastructure : correspond aux équipements fixes relatifs aux voies ;
- matériel roulant ;
- poste de commandement centralisé (PCC) : assure l'exploitation par une gestion en temps réel du système de transport ;
- site de maintenance des infrastructures (SMI) : assure la maintenance des équipements fixes relatifs aux voies, à l'énergie et au contrôle-commande et signalisation ;
- site de maintenance et de remisage (SMR) : assure la maintenance en atelier du matériel roulant (dépannage, entretien, remplacement) et son remisage en période hors exploitation.



PCC : poste de commandement centralisé ; SMI : site de maintenance des infrastructures ; SMR : site de maintenance et de remisage.

Figure 3. Bloc-diagramme fonctionnel du système de transport guidé