

# — MÉTABOLISME URBAIN ET RÉSILIENCE : ARTICULATIONS THÉORIQUES

Maryline Di Nardo, Doctorante – monitrice  
Université Paris-Est Marne-la-Vallée  
Lab'Urba  
Département Génie Urbain

Courriel :  
maryline.dinardo@u-pem.fr

## RÉSUMÉ

Au début des années 2000, face aux inquiétudes liées à l'intensification des risques naturels majeurs et aux besoins de nouvelles approches en gestion des risques, le concept de résilience resurgit. Introduire ce concept change le paradigme pour "faire la vie en ville avec" le risque plutôt que de s'y confronter. Aujourd'hui, ce concept est à la recherche de méthodes et de capacités de mise en action. Nous faisons l'hypothèse que le métabolisme urbain défini comme l'étude des flux de matières et d'énergie entrant, sortant et stockés dans un système et résultant d'activités socio-économiques (Kennedy, 2007, p.1) puisse développer des pistes de réflexion en ce sens.

## MOTS-CLÉS

Métabolisme urbain, résilience, articulations théoriques.

## ABSTRACT

In the early 2000's, because of natural hazards increase, there is a need to try to find new approaches in risk management, resulting in a renewed interest for the resilience concept. Thinking resilience involves to "build the city with risks" instead of facing them. Nowadays, research scientists are observing a lack of any methodology. Urban metabolism defines as the "the sum total of the technical and socio-economic processes that occur in cities, resulting in

*growth, production of energy, and elimination of waste” (Kennedy, 2007, p.1)*  
may develop lines of research.

## **KEYWORDS**

Urban metabolism, resilience, theoretical links.

—

En 2014, plus de la moitié de la population mondiale vit en zone urbaine, une proportion qui devrait représenter 2,5 milliards d'individus d'ici 2050 dont 73% de la population européenne (ONU, 2014). Ce taux de croissance s'accompagne d'une urbanisation croissante qui ne se traduit pas nécessairement par une prise en compte des risques dans l'urbanisme opérationnel. Aujourd'hui, l'injonction du développement urbain durable pousse la ville à se refaire en partie sur « elle-même » et ce, en incluant parfois des zones soumises à des risques majeurs.

Loin de diminuer, le nombre de catastrophes naturelles est en augmentation permanente depuis les années 1950, avec une hausse plus marquée vers la fin des années 2000 (OFDA CRED, 2014). En accord avec les experts du changement climatique, cette augmentation s'accroîtrait et pourrait s'accompagner d'une intensification des catastrophes naturelles. Plus encore, elle engendre un plus grand nombre de personnes affectées et un coût économique accru. En moyenne, entre 2000 et 2012, les catastrophes naturelles mondiales ont été évaluées à un montant de 130 milliards de dollars (OFDA CRED, 2014). Comment expliquer ce fait ? Peut-on émettre l'hypothèse selon laquelle la multiplication des infrastructures, des équipements et, la concentration des richesses, des activités et des personnes dans un espace restreint amplifieraient la vulnérabilité des milieux urbains ? De manière générale, les différentes catastrophes, montrent que la survenue d'un aléa génère des dégâts matériels et, produit des perturbations fonctionnelles importantes, de moins en moins supportables en raison de leur coût et de la paralysie qu'elles créent.

En Europe, suite aux nombreuses catastrophes survenues au début des années 2000, la Commission Européenne a remis en question la gestion des risques sur certains aléas, comme l'inondation, jusque-là relevant de la compétence des Etats. Pour la France, le changement est important car les contours sont redéfinis en intégrant le temps de la crise et de la post-crise. La Commission Européenne impose également de prendre en compte plusieurs niveaux d'aléa, de fréquent à rare ; le niveau « centennale », référence des politiques publiques françaises, étant considéré comme un aléa moyen. Le regain d'intérêt pour le concept de résilience s'inscrit dans cette mouvance. La résilience n'est pas un concept nouveau. Elle apparaît dans les années 1960 dans le domaine de la physique, puis, au cours des années 1970 et 1980, elle est transférée à l'écologie. Définie par C.S.Holling comme la capacité d'un écosystème à intégrer dans son fonctionnement une perturbation sans modifier sa structure qualitative, elle devient un concept clef pour l'analyse des écosystèmes (Dauphiné et Provitolo, 2007). De fait, dans le champ des risques, la résilience est d'abord mobilisée par les travaux sur les changements climatiques. Puis, en 2005, suite à l'ouragan Katrina, elle est reconnue comme concept central dans la gestion des risques. La réflexion sur le concept s'étend alors à des risques moins « exceptionnels »,

dont la nature, l'aléa et les effets ont déjà été éprouvés par ailleurs. À partir de ce moment, le concept se diffuse rapidement. L'engouement qu'il suscite vient des nouvelles perspectives, notamment opérationnelles. « *La résilience peut être interprétée comme un nouveau moment de l'histoire de la gestion des risques et de la compréhension des catastrophes* » (Reghezza et al., 2015, p.25.). « [Elle] *introduit un changement de paradigme profond.* » (Barroca, in Reghezza et Rufat, 2015, p.95). Être résilient implique de ne plus se confronter aux risques, mais de « faire la vie en ville avec » ceux-ci. C'est aussi passer d'une culture « défensive » opposant ville et nature à des dispositifs intégrés prenant en compte les effets de l'inondation sur la vie urbaine. La résilience pose alors différentes questions, liées aux échelles d'intervention spatiales et temporelles, puis, aux éléments piliers de sa mise en action, aux outils et aux rôles que peuvent tenir les acteurs. En Génie Urbain, être résilient, c'est intégrer le fonctionnement urbain dans l'aménagement en prenant en compte la possible survenue d'une perturbation majeure causée par un aléa, et non plus tenter de se protéger en séparant les territoires de l'aléa des territoires de la ville. D'ailleurs, nous entendons ici la résilience comme la capacité d'un territoire à subvenir à ces besoins vitaux alors qu'il est soit impacté lui-même, soit non impacté directement par l'aléa mais impacté par les dysfonctionnements des infrastructures qui engendrent des perturbations. C'est pourquoi, la démarche présentée propose d'aborder la résilience à travers une approche par les flux. En effet, ces derniers ont la particularité de décrire l'urbain d'un point de vue dynamique, et de caractériser le fonctionnement du système urbain. Les flux qui nous concernent plus particulièrement s'appuient sur un réseau technique urbain. Ils concernent les transports, l'énergie, les déchets, l'eau (potable et assainissement) et les télécommunications. Le transport est un flux singulier pour deux raisons. D'abord, il draine les populations et les marchandises. Or, en cas de crise, les questions de l'accès des secours, de l'évacuation ou non des populations et de l'approvisionnement sont primordiales, corrélées et demandent parfois une capacité d'endurance. Puis, selon le mode de transports, le système d'objet technique varie fortement, modifiant considérablement la question du « comment se déplacent les populations ? ». L'ensemble de ces éléments conduit à un nouveau questionnement. Que peut-être le « vivre avec le risque » aux différents temps de l'événement? De quelle façon l'architecture des flux peut s'adapter à un territoire potentiellement soumis à un aléa ?

À cet effet, l'approche méthodologique choisie se nourrit fortement des recherches menées sur le métabolisme urbain, à l'instar de travaux internationaux (Barles, 2013 ; Bristow et Kennedy, 2014). Étymologiquement, l'expression « métabolisme urbain » opère un rapprochement entre la ville et le vivant ; dont on peut retrouver des exemples dans la littérature, en architecture ou en urbanisme. D'un point de vue scientifique, le métabolisme urbain se construit

par analogie avec le métabolisme d'un organisme. Ce dernier est défini comme l'ensemble des processus complexes et incessants de transformation de matière et d'énergie par la cellule ou l'organisme, au cours des phénomènes anaboliques (création de la matière) et cataboliques (dégradation de la matière) (Larousse, 2015). En conséquence, « *le métabolisme urbain constitue un ensemble de transformations et de flux de matières et d'énergie intervenant dans le cycle de vie d'une zone urbaine* » (Guyonnaud et Berlan 2009, p.86). Il permet de qualifier la pression urbaine sur l'environnement et, aussi de regarder la ville à travers sa matérialité et ses activités productives (Barles, 2007, 2008). La croissance urbaine est caractérisée par une augmentation des flux d'énergie tels que les carburants, l'électricité et les produits alimentaires, ceux-ci entrent, sortent, circulent et s'accumulent dans la ville et au-delà de ses frontières (Kennedy, 2007). Le métabolisme urbain permet de sonder, de mesurer d'une certaine façon les modes de vie à travers les biens et les services qu'ils impliquent. Or, en période de crise, le métabolisme urbain se trouve perturbé. L'ensemble de la zone urbaine métabolique de même que les éléments qui y entrent et qui en sortent subissent l'agression de l'aléa, ce qui peut générer des dysfonctionnements majeurs et permanents. Les flux peuvent être coupés partiellement ou totalement, ainsi que les services urbains qu'ils alimentent et les besoins des usagers auxquels ils répondent. C'est pourquoi le rapprochement entre résilience et métabolisme urbain est innovant et, il semble a priori prometteur.

## MÉTHODE DE TRAVAIL

L'objectif de cet article est donc de présenter les articulations qui peuvent se faire entre résilience face aux risques naturels et métabolisme urbain sur un plan théorique. Comment pouvons-nous positionner, articuler ces deux notions ? Sous quelle(s) condition(s) ?

Au moyen d'une revue des deux cadres conceptuels, celui de la résilience face aux risques naturels et celui du métabolisme urbain, ce travail envisage une mise en relation des deux concepts ou, au moins un examen de leur(s) point(s) d'accroche(s).

## — COMPRENDRE LA RÉSILIENCE

### ESSOR ET ÉLÉMENTS CONCEPTUELS

Il y a dix ans, 80 % du territoire de la Nouvelle Orléans était inondé des suites de l'Ouragan Katrina (ouragan de catégorie 5, la plus haute sur l'échelle de Safir-Simpson) et de l'effondrement partiel de son système de digues. D'après plusieurs médias et certaines autorités locales, le territoire du Golfe du Mexique était sinistré à tel point qu'il était impossible qu'il se reconstruise.

Pourtant, peu de temps après la catastrophe des quartiers sont à nouveau investis, révélant ainsi une capacité inattendue, une capacité de résilience. Dès lors, le concept de résilience devient central dans la gestion des risques dans les pays anglo-saxons (Campanella, 2006, pg.142). En effet, la rupture du système de digues a montré les limites des mesures ponctuelles et les limites de l'ingénierie face au risque. Elle a révélé le besoin d'une nouvelle approche intégrée et l'intérêt de s'interroger sur « le retour à la normale ». La notion de résilience séduit alors la communauté internationale, comme en témoigne quantitativement l'analyse des bases de données Web of Sciences et Factiva. Ces dernières donnent un aperçu de l'utilisation des notions en interrogeant respectivement les publications scientifiques et l'actualité internationale à travers la presse généraliste. Il apparaît que « *le terme de résilience accentue fortement sa pénétration à partir de 2005* » (Barroca et al, 2013, p.4). Cet essor peut être en partie expliqué par la polysémie du terme, qui induit un double effet. D'une part, elle a suscité un certain nombre de débats théoriques sur l'étymologie et l'épistémologie du terme. D'autre part, elle confère un potentiel riche, elle semble pourvoir un besoin d'opérationnalité que la vulnérabilité n'a pas satisfait. « *Si l'on analyse les recherches sur les risques, on remarque que les concepts se succèdent à mesure que l'on rencontre des obstacles pour rendre opérationnel des outils pourtant théoriquement séduisants* » (Reghezza et al, 2012, p.12). La résilience succède à la vulnérabilité mais elle ne s'y substitue pas. Les débats sur le lien entre les deux notions n'est pas ce qui nous intéresse ici mais quelques précisions doivent être apportées. Selon nous, la résilience est une autre branche de la gestion des risques, à la fois en parallèle et en interaction avec la vulnérabilité. Les travaux autour de la vulnérabilité n'occupent plus une place fondamentale (Provitolo et Zitt, 2015, p.43), mais ils se poursuivent. Certains chercheurs l'expliquent par l'image renvoyée par les deux concepts : « *Le plus souvent la vulnérabilité est présentée selon un aspect négatif et la résilience selon un aspect positif. [...] Tandis que la vulnérabilité sanctionne une faiblesse, une incapacité, la résilience apparaît comme la propriété désirable d'un système vers laquelle la gestion devait tendre* » (ibid). D'ailleurs les réflexions autour de la résilience tirent parti des avancées acquises grâce aux travaux sur la vulnérabilité, puisque l'engouement pour la résilience s'explique aussi par l'intérêt croissant pour l'aspect socio-économique d'une crise. Celui-ci n'est possible et peut se manifester si et seulement si l'aspect protection civile est maîtrisé ; ce qui semble être de plus en plus le cas pour des aléas fréquents. Enfin, dans le cas de la ville, résilience et vulnérabilité forment un couple indissociable car certains enjeux sont ambivalents. Ils peuvent à la fois aggraver la vulnérabilité et, à la fois, favoriser la résilience. Par exemple, « [les] réseaux [techniques] jouent un rôle essentiel dans les mécanismes de diffusion du risque entre les différents composants urbains

(capacité d'absorption) et dans les mécanismes de remise en service du système urbain (capacité de récupération) » (Lhomme, 2012. §31).

### ENJEU : COMMENT LA RÉSILIENCE EST-ELLE MISE EN ACTION ?

Si l'opérabilité a fait l'essor du concept, l'un de ses enjeux actuels est alors sa mise en action. En promouvant une vision intégrée, la résilience induit que les moyens d'actions les plus opportuns se trouvent « à l'intersection de plusieurs disciplines » (Serre, 2011, p.28). D'où la nécessité de développer une boîte à outils adéquate et transversale à plusieurs champs, à l'instar des risques naturels et de l'écologie. Existe-il déjà par ailleurs des exemples de mises en action? De quelles natures sont-ils ? À quel(s) élément(s) de la résilience renvoient ces exemples ?

Le domaine du risque n'est plus seulement l'objet d'étude des sociologues, des géographes ou des ingénieurs, mais de plus en plus l'objet de projet des architectes et des urbanistes. Une hypothèse à cela est que le Grenelle de l'environnement II a poussé les pratiques en urbanisme à se renouveler au profit d'un urbanisme intégré. La conception tend à tenir compte des aspects sociaux et environnementaux, elle tend à impliquer les habitants par les processus de concertation, à mutualiser les services, les programmes. Pourquoi l'appropriation du risque ne s'inscrirait-elle pas dans cette logique ? Les opérations de renouvellement urbain en zone à risque comme Haffencity à Hambourg ou Westhafen à Francfort sur le Main constituent, à l'échelle européenne des vitrines de ce qui peut être produit en termes d'initiatives d'intégration de la gestion des risques au sein de l'aménagement urbain et de l'architecture des bâtiments. À Haffencity, le niveau de la ville est surélevé, le rez-de-chaussée adopte des fonctions de stockage de l'eau où, le cas échéant, les activités sont protégées par des portes blindées (Balsells, 2015). Est-ce suffisant pour parler de quartiers résilients ? La résilience y est pensée à l'échelle du bâtiment et non pas, à une échelle plus complexe comme le quartier. Les initiatives ne semblent pas relever d'une vision intégrée. En matière de flux, peu d'informations sont disponibles sauf sur le maintien des flux de déplacements de personnes.

Du côté académique, on fait état du besoin de développer des méthodes ou des modèles généraux voués à créer un maillon entre le concept théorique et son opérationnalisation dans l'urbain. Plusieurs chercheurs observent : « un manque d'outils méthodologiques et d'un manque de recherche sur la caractérisation de la résilience urbaine » (Manyena, 2006 – Serre et Barroca, 2013, p. 1). En Génie urbain, le modèle conceptuel « Behind the barriers » tend à représenter de manière synthétique, les options de mise en place d'une stratégie de résilience pour les systèmes techniques. À cet effet, quatre types de résilience sont déterminées (résilience fonctionnelle, résilience cognitive, résilience corrélative et résilience organisationnelle) qui comprennent la connaissance des acteurs, l'organisation territoriale, les systèmes techniques et des méthodes (Barroca, 2013). À la croisée

des flux et des risques il n'existe a priori ni méthode, ni modèle.

En résumé, deux types de mise en action semblent émerger : la première plutôt « bottom-up » au sein des pratiques de conception urbaine, la seconde plutôt « top – down » du côté académique à travers la recherche de méthodes. Dans les deux cas, les flux ne constituent pas un élément central de la réflexion. En revanche, les échelles spatiales constituent un élément de discussion. Elles peuvent être tour à tour locales ou multi-échelles. Les échelles de temps sont peu évoquées.

## — COMPRENDRE LE MÉTABOLISME URBAIN

### GENÈSE ET CONSTRUCTION DU MODÈLE

Le métabolisme urbain apparaît à la fin des Trente Glorieuses, dans un contexte fonctionnaliste et de prise de conscience progressive par l'opinion publique et les politiques des conséquences de l'urbanisation, de l'industrialisation et de la croissance démographique sur l'environnement. Il répond à une volonté d'élaborer, développer et mettre en place une boîte à outils afin d'opérationnaliser la notion d'environnement.

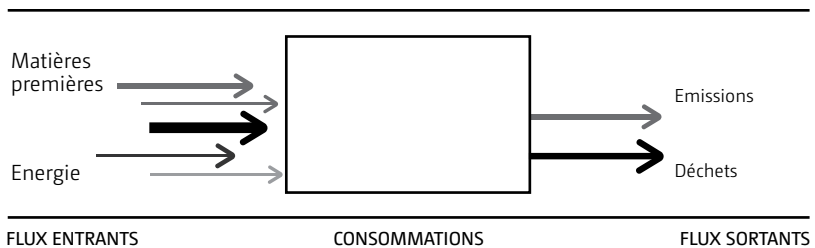
La première étude de métabolisme urbain reconnue comme telle est publiée en 1965 par Abel Wolman. Le métabolisme urbain y apparaît comme un outil palliatif des problématiques d'ingénierie urbaine (salubrité du réseau d'assainissement, d'approvisionnement adéquat en eau et de contrôle de la pollution de l'air) via une approche systémique de la ville. Cette approche modélise la ville comme une unité de transfert et de transformations de flux de matières et d'énergie. Plus tard, grâce aux travaux de H. Girardet, s'ajoute une boucle de rétroaction qui induit une notion de contrôle et de régulation des flux d'énergie et de matières au sein du système. « *La ville est alors représentée comme un écosystème qui gère ses entrants et ses sortants par la régulation* » (Bochet et Da Cunha, 2003, p.8). Les flux d'entrée ne sont plus seulement en transfert au sein de l'unité métabolique, mais, une partie d'entre eux est revalorisée au sein du système comme matières premières d'autres sous-systèmes. De plus, cette notion de régulation induit une moindre consommation ou une dématérialisation des flux d'entrée afin de réduire les pressions exercées sur l'environnement.

En urbanisme, cette modélisation de la ville met en place les jalons du métabolisme, puisqu'aujourd'hui encore, il est majoritairement employé comme une boîte noire input/output dont on réalise le bilan de matières brutes.

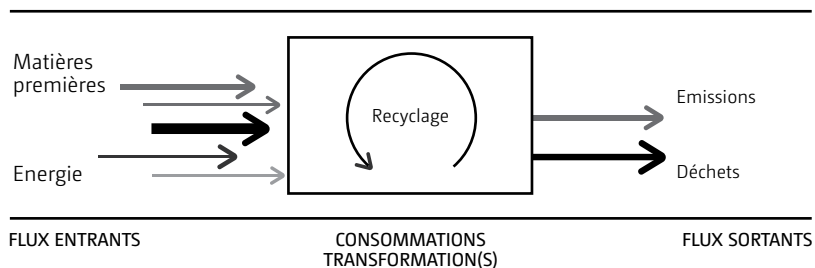
Une autre manière d'aborder le métabolisme urbain découle de l'étude des synergies possibles entre les flux à l'image de l'Ecologie Industrielle et Territoriale (EIT). Cette dernière vise à connecter les activités économiques entre elles



par des échanges de matières sur un site donné. Elle tend à optimiser l'usage des ressources prélevées du milieu naturel en passant d'une consommation linéaire dite « end of pipe » et individuelle à chaque industrie à une consommation circulaire des matières où les industries travaillent en symbiose<sup>1</sup> (figures 1 et 2). En mutualisant l'approvisionnement de leurs ressources et en transformant le(s) déchet(s) d'une industrie en matière première pour une autre industrie, elle crée des boucles entre les cycles de matière et l'efficacité du prélèvement à la source s'en trouve accru. En fait, le métabolisme urbain est un outil à vocation d'analyse, concentré sur les flux, tandis que l'EIT a pour but de mettre en place des solutions pratiques et opérationnelles. Elle connaît son terrain et ses processus de transformation de la matière en profondeur ; c'est pourquoi, ses problématiques concernent davantage les acteurs et la gouvernance.



**Figure 1 :** Schéma du métabolisme linéaire. (source : auteure)



**Figure 2 :** Schéma du métabolisme cyclique.<sup>2</sup> (source : auteure)

**1** À l'heure actuelle, compte tenu des efforts des industriels pour protéger l'environnement, cette présentation semble très caricaturale. Néanmoins, elle permet de saisir la transition des modes de consommations.

**2** Le nombre de flèches et leur taille sont indicatifs, de même que la nature des flux en entrée et en sortie. Ni l'un ni l'autre ne sont exhaustifs.

## APPLICATIONS ET EXPLOITATION

Concernant l'approche par les flux, le constat du manque d'un modèle commun est avéré par plusieurs chercheurs : « [there is a need for a] *comprehensive systematic procedure for urban metabolism studies that avoids the frequently adopted bulk MFA perspective and establishes a new methodological framework intended to quantify urban material flows and stocks* » (Rosado et al., 2014, pg.2). Aussi, les applications des études de flux et la manière dont celles-ci détournent les méthodes semblent présenter un plus grand intérêt et un potentiel d'innovation plus riche. Le recensement des études de métabolisme mené de 1960 à 2010 (Kennedy et al., 2001, p.2) montre que, la plupart des cas d'étude se concentrent, soit sur l'étude d'un seul élément chimique, soit sur des territoires administratifs comme les métropoles, les régions ou les pays. Le potentiel d'innovation de cet outil est donc encore à explorer, d'ailleurs aucune étude connue ne semble appréhender ni le risque, ni la résilience. Une première explication possible se trouve dans le type de données et leurs accessibilités. En effet, les données traitent généralement de grandes échelles spatiales et temporelles (un an au minimum). Une autre explication vient du degré de complexité lié aux systèmes urbains puisque ceux-ci devraient tenir compte d'un certain nombre de flux, de leurs interactions, des activités, des acteurs et des spécificités d'un territoire. De surcroît, par nature, un flux urbain recouvre plusieurs matières premières et n'a pas d'unité propre de lecture ou de mesure, ce qui accroît la difficulté d'étudier un système urbain dans son ensemble en dehors des bases de données existantes et des matières brutes. Une piste pourrait se trouver dans la méthode « *emergy* » développée par les frères ODUM, où l'ensemble des flux sont transformés en équivalent énergie.

En outre, l'exploitation des résultats d'une étude de métabolisme urbain est un pan en construction. Kennedy et al. ciblent quatre perspectives potentielles, à savoir : « *Here we review applications in sustainability reporting, urban greenhouse gas accounting, mathematical modeling for policy analysis, and urban design. This list of four is perhaps not exhaustive urban metabolism studies [...] may have other potential applications* » (Kennedy et al, 2007, p.4). Cette énumération est enrichie par la compréhension de processus critiques tel que les impacts à long terme de matériaux dangereux, les îlots de chaleurs urbains, la régulation et l'optimisation des flux ou encore, la construction et évolution de sous-systèmes dans le temps. Pourtant, le maillon qui permet d'embrayer entre la lecture des résultats et leur exploitation en vue de ces potentielles applications est très peu évoqué dans la littérature. « Faire parler » les résultats du métabolisme urbain semble être un défi encore à relever.

Pour récapituler, le métabolisme urbain est un modèle d'abstraction de la ville permettant d'appréhender la complexité du fonctionnement urbain grâce à l'approche systémique. Il s'agit d'un outil mal connu et qui dispose d'un potentiel d'évolution encore trop peu exploré. Son champ d'application possible est vaste, et encore largement à faire évoluer. Il serait susceptible de répondre à des enjeux ambitieux, si l'analyse des flux et de leurs utilisations dans un système urbain pouvait être davantage approfondie. Si les facteurs d'influence, les leviers d'actions sur et du métabolisme pouvaient être mis en exergue, le métabolisme urbain tendrait à être employé comme une méthode.

## — DE LA DIFFICULTÉ DE LIER RÉSILIENCE ET MÉTABOLISME À DES EXEMPLES D'ARTICULATIONS

Ce maillon manquant explique peut-être que l'articulation de la résilience urbaine face aux risques naturels avec ce type d'approche reste rare. Quelle(s) explication(s) à cela ? Dans le cadre des risques naturels, la première distinction évidente observe un décalage du cadre spatio-temporel de chacune des notions. Dans la plupart des cas, la résilience semble être mise en action dans des espaces de renouvellement urbain de l'ordre de plusieurs dizaines d'hectares en moyenne, alors que le métabolisme traite au minimum d'une métropole déjà construite et établie depuis un certain temps.

En revanche, si l'on élargit notre cadre de réflexion à d'autres risques, notamment aux changements climatiques, la résilience devient écologique et les connexions entre les deux notions sont plus nombreuses et plus faciles à identifier. Sans établir une liste exhaustive, les réflexions autour des émissions CO<sub>2</sub>, du facteur 4, du facteur 10, de la ville post-carbone et des services éco-systémiques tendent à défendre qu'une ville résiliente est une réponse partielle aux changements climatiques. D'un point de vue théorique, cela montre que les échelles temporelles constituent un point d'accroche. La résilience au sens écologique s'étend sur un temps long qui lui offre un premier point de convergence avec l'échelle temporelle d'observation du métabolisme urbain.

L'étude des littératures fait émerger d'autres croisements, dont deux sont explicités ci-après. De quelle nature sont-ils ? À quel cadre spatio-temporel nous renvoient-ils ? Permettent-ils de se rapprocher de notre objectif de résilience face aux risques naturels ?

### LE MÉTABOLISME COMME RÉVÉLATEUR D'UNE CRISE

D'une certaine manière, le métabolisme établit une photographie à un instant donné de la consommation de matières brutes d'un territoire économique sur un temps long. Or, les consommations fournissent des indications

sur les modes de vies, d'urbanisation (Kennedy et al., 2007) et de croissance économique. L'étude du métabolisme de Paris a montré que les effets de la révolution industrielle peuvent se lire dans un bilan de matières brutes (Kim, 2012, p.13.). Dans le même esprit, le taux de nouvelles constructions par an diminue fortement aux alentours des deux guerres mondiales, témoignant d'une chute de la consommation d'énergie et de matériaux de construction (Aksoezen et al., 2014, p.3). Récemment, la juxtaposition des métabolismes de trois villes suédoises (Stockholm, Göteborg et Malmö) a laissé apparaître une chute de la consommation de matières premières aux alentours de l'année 2008, indiquant ainsi l'impact de la crise économique de 2008 (Rosado, 2015). L'ensemble de ces éléments tend à signaler que les crises, quelle que soit leur nature (économiques, écologiques, sociales, etc.), s'inscrivent dans le métabolisme. Elles laissent ainsi supposer qu'il existe des profils de métabolisme et de fait, un ou des profil(s) de métabolisme résilient. À nouveau, le cadre spatio-temporel est celui d'un grand territoire et d'une perturbation de grande ampleur et d'au minimum un an.

### LE TEMPS DE RÉSIDENCE NOMINAL

Comment une capacité de stockage énergétique favorise la résilience d'une ville en cas de choc(s) ? Quel rôle cette capacité-tampon locale assure-t-elle ? Posant l'hypothèse d'une coupure d'alimentation des différents réseaux techniques urbains (gaz, diesel, biomasse), D.Bristow et de C.A.Kennedy évaluent l'autonomie de chacun d'eux. Ils en déduisent ainsi ce qu'ils nomment « *nominal residence time* » ; soit la durée sous laquelle un stock d'énergie peut répondre à des sollicitations sous contraintes des modes habituels de consommation. Ici, le métabolisme urbain est un outil qui sert à mesurer un facteur de résilience (la capacité de stockage énergétique), qui dessert un objectif d'autonomie à court terme et de résilience du territoire d'un point de vue global. Il s'agit d'une démarche peu commune, puisqu'en général, la résilience est sous-entendue par le temps de récupération. Par ailleurs, le cadre spatio-temporel est réduit puisque l'échelle spatiale concernée est la ville et l'échelle temporelle renvoie à un métabolisme de journée voire de quelques heures.

Bien que ces exemples ne permettent pas de définir les contours d'un métabolisme résilient, ils enrichissent notre questionnement sur les modalités d'articulations entre résilience et métabolisme. Premier élément de réflexion, il faut fixer la nature et le rôle respectif de chacun. Dans le premier exemple, le métabolisme est un outil de lecture, dans le second un outil de mesure. Second élément de réflexion, les échelles spatiales et temporelles permettent des articulations différentes, sans compter que celles-ci peuvent être définies soit par le risque étudié, soit par le type de métabolisme souhaité. En cas de

crise, un métabolisme à la journée ou à la semaine a du sens. En post de crise, pour évaluer le coût d'un retour à la normale, un métabolisme au mois, voire à l'année dans certain cas sera plus pertinent.

Si l'on revient à notre définition de la résilience, la question spatiale est contingente du territoire et de la manifestation de l'aléa sur celui-ci. Au minimum, deux périmètres sont à prendre à compte : l'espace impacté directement et l'espace impacté indirectement. Concernant le temps, nous nous positionnons de façon arbitraire sur une résilience à court terme comme reprise majeure de l'activité économique locale au sein de la zone impactée, ce qui sous-tend un fonctionnement urbain dégradé très rapidement suite à la crise<sup>3</sup>. La résilience devient une propriété qui désigne la propension du territoire à valoriser ses ressources locales, à se ré-organiser et à se gérer en temps de crise et de post-crise afin de rétablir au mieux et au plus vite une situation viable. Elle défend une approche réactive, transversale et de temps court. Au-delà des flux, les acteurs sont impliqués, le territoire est lui-même perçu comme actant et le nombre de flux pris en compte attribue un certain degré de complexité. Elle fait appel à un métabolisme intégrateur, à la journée et sur un territoire tributaire de l'aléa.

## — CONCLUSION

Après une étude des deux cadres conceptuels, il apparaît que le lien entre résilience face aux risques naturels et métabolisme urbain ne soit pas évident. Au sein de ces deux cadres, peu d'éléments vont dans le sens d'une articulation évidente. C'est pourquoi, nous avons étendu notre réflexion à d'autres risques, notamment le risque climatique, puis à des crises de natures différentes (guerre, révolution industrielle, etc.) où des croisements émergent. Aussi, il apparaît que les points d'accroches peuvent se trouver à travers le positionnement des échelles spatiales et temporelles. Néanmoins, étant un outil d'analyse des ressources et des flux, il est clair que le métabolisme urbain n'est pas un outil d'analyse des risques mais il dispose d'un potentiel pour accompagner la gestion de crise. Pour la résilience, il permettrait d'analyser et de projeter une possible optimisation de la gestion des ressources.

---

**3** Le fonctionnement urbain dégradé désigne le fonctionnement de manière partielle ou ralenti de l'ensemble du système urbain suite aux dysfonctionnements engendrés par l'aléa et en l'absence des ressources (humaines et matérielles) habituelles, complètes, fiables et/ou régulières. Un dispositif particulier organisationnel permet de poursuivre une partie de l'exploitation tout en préparant le dépannage. Dans le cas du fonctionnement urbain, l'ensemble du système urbain comprend les flux d'énergie, de télécommunications, d'eau, de transport, de déchets en ajoutant les interactions entre ces services.

## — BIBLIOGRAPHIE

Aksoezen, M., Daniel, M., Hassler, U. et Kohler, N. (2015). Building age as an indicator for energy consumption. *Energy and Buildings*, 87, 74–86.

Balsells, M. (2015). *Contribution de la conception d'un quartier à la résilience urbaine face au risque d'inondation à l'échelle du quartier*. Thèse de doctorat, Art de bâtir et urbanisme, Mons, Belgique.

Barles, S. (2007). Mesurer la performance écologique des villes et des territoires : Le métabolisme de Paris et de l'Île-de-France. (rapport de recherche) [en ligne] Ville de Paris. Disponible sur : [http://perso.univ-mlv.fr/www-ltmu/groupe\\_documents/doc\\_pdf/Barles-EI-Paris.pdf](http://perso.univ-mlv.fr/www-ltmu/groupe_documents/doc_pdf/Barles-EI-Paris.pdf).

Barles, S. (2008). Comprendre et maîtriser le métabolisme urbain et l'empreinte. *Responsabilité & environnement*, 52, 21-26.

Barles, S. (2013). Résilience urbaine et transition socio-écologique. In *Introductif au 92<sup>ème</sup> congrès de l'ASTEE-Urbanisme et service publics urbains : l'indispensable“ alliance dossier* (42-43). Nantes, du 4 au 7 juin 2013.

Barles, S. (2014). Métabolisme urbain et Résilience (communication). *Séminaire Résilience en action (20 janvier 2015, Champs sur Marne)* [podcast en ligne]. Disponible sur : <http://ifsa.u-pem.fr/genie-urbain/recherche/seminaire-scientifique-la-resilience-en-action/podcast-seminaire-la-resilience-en-action/>

Barroca, B. (2015). De la résistance du bâti à la résilience du territoire : un nouveau cadre de réflexion et d'action. In M. Reghezza-Zitt et S. Rufat (ed.), *Résilience, sociétés et territoires face à l'incertitude, aux risques et aux catastrophes* (pp.61-78). Londres : ISTE.

Barroca, B., Di Nardo, M. et Mboumoua, I. (2013). De la vulnérabilité à la résilience: mutation ou bouleversement ? *EchoGéo* [en ligne], 24,. Disponible sur : <https://echogeo.revues.org/13439>

Barroca, B. et Serre, D. (2013). Behind the Barriers: A Resilience Conceptual Model. *S.A.P.I.E.N.S* [en ligne], 6(1). Disponible sur : <http://sapiens.revues.org/1529>

Bochatay, A. (2004). *Cycle de l'eau et métabolisme urbain – le cas lausannois*. Mémoire de fin d'étude. Université de Lausanne, Suisse.

Bochet, B. et Da Cunha, A. (2003). Métropolisation, forme urbaine et développement durable. In A. Da Cunha et J. Ruegg (dir), *Développement durable et aménagement du territoire* (pp. 83-100). Lausanne : PPUR.

Bristow, D. N. et Kennedy, C. A. (2013). Urban Metabolism and the Energy Stored in Cities. *Journal of Industrial Ecology*, 17(5), 656-667.

**Campanella, T. J. (2006).** Urban Resilience and the Recovery of New Orleans. *Journal of the American Planning Association*, 72(2), 141-146.

**Dauphiné, A. et Provitolo, D. (2007).** La résilience : un concept pour la gestion des risques. *Annales de géographie*, 2(654), 115-125.

**Girardet, H. (1992).** *The Gaia Atlas of Cities Gaia*. London: Books Limited.

**Guyonnaud, M.F et Berlan, M. (2008).** Le métabolisme urbain, un outil de gestion durable. *Géosciences*, 10, 86-94.

**Intergovernmental panel on climate change Working group II (2014).** Chap. 8. Urban Areas. In *Climate change 2014 Impacts, Adaptation and Vulnerability* (pp.535-612) [en ligne]. Disponible sur : <http://ipcc-wg2.gov/AR5/>

**Kennedy, C.A., Cuddihy J. et Engel Yan, J. (2007).** The changing metabolism of cities. *Journal of Industrial Ecology*, 11, 43-59.

**Kennedy, C., Pincelt, S. et Bunje, P. (2011).** The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design. *Environmental Pollution*, 159, 1-9.

**Kim, E. (2012).** Etude du métabolisme urbain à long terme: le cas de la consommation énergétique de Paris et de la région Ile-de-France. *Colloque Interdisciplinaire sur l'Ecologie Industrielle et Territoriale (Troyes, 11 octobre 2012)*.

**Lhomme, S., Laganier, R., Diab, Y., et Serre, D. (2012).** La résilience de la ville de Dublin aux inondations : de la théorie à la pratique. *Cybergeo : European Journal of Geography* [en ligne]. Disponible sur : <http://cybergeo.revues.org/26026>.

**Mayena, S.B. (2006).** The concept of resilience revisited. *Disasters*, 30(4), 434-450

**Provitolo, D. et Reghezza-Zitt, M. (2015).** Résilience et Vulnérabilité : de l'opposition au continuum. In M. Reghezza-Zitt et S. Rufat (ed.), *Résilience : sociétés et territoires face à l'incertitude, aux risques et aux catastrophes* (pp. 43-60). Londres : ISTE.

**Reghezza, M. Provitolo, D. et Lhomme, S. (2015).** Définir la résilience : quand le concept résiste. In M. Reghezza-Zitt et S. Rufat (ed.), *Résilience : sociétés et territoires face à l'incertitude, aux risques et aux catastrophes* (pp.21-42). Londres : ISTE.

**Rosado, L., Niza, S. et Ferrao, P. (2014).** A Material Flow Accounting Case Study of the Lisbon Metropolitan Area using the Urban Metabolism Analyst Model. *Journal of Industrial Ecology*, 18(1), 84-102.

**Rosado, L. (2015).** Urban Metabolism characteristics revealed by resource use in cities (communication). *Séminaire Résilience en action (20 janvier 2015, Champs sur Marne)* [podcast en ligne]. Disponible sur : <http://ifsa.u-pem.fr/genie-urbain/recherche/seminaire-scientifique-la-resilience-en-action/>

Serre, D. (2011). *La ville résiliente aux inondations - Méthodes et outils d'évaluation*. Thèse d'Habilitation à Diriger les Recherches en Aménagement de l'Espace, Urbanisme, Université Paris-Est, France.

Serre, D. et Barroca, B. (2013). Special issue Natural hazard resilient cities. *Natural Hazard Earth System Sciences*, 13, 2675-2678.

Wolman, A. (1965). The metabolism of cities. *Scientific American*, 213(3), 179-190.

## — SITOGRAFIE

Encyclopédie et dictionnaire Larousse en ligne : [www.larousse.fr](http://www.larousse.fr)

The International Disaster Database : <http://www.emdat.be/database>

Portail des Nations Unies : [www.un.org/fr](http://www.un.org/fr)