



HAL
open science

Catastrophes, changement et résilience urbaine

Giovanni Fusco

► **To cite this version:**

Giovanni Fusco. Catastrophes, changement et résilience urbaine. Boris Cyrulnik, Laurence Vanin. Smart city, le catastrophisme, penser le pire et agir pour le meilleur, Ovadia, 2020, 978-2-36392-422-3. hal-03533530

HAL Id: hal-03533530

<https://hal.science/hal-03533530>

Submitted on 18 Jan 2022

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

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

Catastrophes, changement et résilience urbaine

Giovanni Fusco

Géographe et urbaniste

Université Côte d'Azur, CNRS, ESPACE

La ville exposée aux cygnes noirs

La résilience urbaine est un champ de recherche émergent, en géographie et en urbanisme, comme en sociologie et en économie. Dans le débat sociétal au sens large, il est communément admis que les villes doivent aujourd'hui faire face à toute sorte de menaces et traumatismes : les aléas environnementaux liés au changement climatique, les incertitudes économiques, le terrorisme, les ruptures technologiques, etc. De l'attaque aux tours jumelles de New York à l'ouragan Katrina ravageant la Nouvelle Orléans, la prise de conscience est allée croissant du fait que même la grande ville occidentale peut être mise à dure épreuve par l'inattendu. C'est dans ce contexte que l'idée de la ville résiliente s'est imposée, une notion vague, faisant allusion à la capacité de la ville à savoir rebondir de ses difficultés. Dans ce qui suit, je m'efforcerai de clarifier ce que « résilience urbaine » veut dire aujourd'hui dans la recherche scientifique, et ce que sont ses enjeux pour une société qui souhaite se préparer aux défis que le futur posera à la ville.

Mais la ville est un domaine d'étude extrêmement vaste : elle est à la fois un objet physique (*l'urbs*) et une société humaine (*la civitas*). Je me focaliserai ainsi essentiellement sur la résilience de la ville physique et de ses formes, c'est-à-dire sur la résilience de l'organisation spatiale du bâti, des rues, des réseaux techniques et des parcelles de la ville, dans un site donné. C'est sur cette ville physique que porte l'essentiel de l'action de l'urbaniste et de l'ingénieur, et qu'un certain nombre de politiques publiques sont formulées. Bien évidemment, les considérations qui seront ici développées profiteront à être croisées avec celles concernant la résilience de la société urbaine, avec son capital social, économique et culturel.

Il est également nécessaire de délimiter le type de phénomènes par rapport auxquels il s'agira de définir une résilience. Le débat cité en ouverture de ce texte s'est essentiellement focalisé sur la résilience à la catastrophe. Cette dernière est un événement causant un grand bouleversement pour la ville, prenant souvent la forme d'une perturbation débilante (une inondation, un tremblement de terre, une attaque terroriste ou un grand accident industriel). Sortant du débat médiatique, René Thom (1983) avait

défini une théorie mathématique des catastrophes : au sein d'un système dynamique, la catastrophe est tout changement macroscopique, soudain, de l'état du système, suite à une modification graduelle de ses paramètres. Celle des catastrophes est ainsi une théorie du changement discontinu au sein des systèmes. Ces derniers n'ont pas besoin d'un événement exogène pour subir une modification soudaine, mais peuvent la produire comme résultat de leurs fonctionnements internes. C'est donc par rapport à ces changements internes, changements de nature socioéconomique, organisationnelle et technologique, que sera évaluée la résilience de la ville physique et de ses formes.

Une question de fond qu'il faut se poser d'emblée est : peut-on prévoir le changement urbain pour préparer la ville physique à sa survenue ? Mon texte apportera une réponse ambivalente à cette question : non, il n'est pas possible de prévoir le changement urbain et pourtant oui, on peut et on doit préparer la ville physique au changement, en dépit de son imprédictibilité.

Les chercheurs s'accordent aujourd'hui sur le fait que la ville est un système complexe caractérisée par une dialectique entre les tendances à l'auto-organisation et les tentatives de contrôle, toujours partiel, par les plans des urbanistes et des aménageurs. Or, la connaissance que nous pouvons avoir d'un tel type de système est toujours incomplète, approximative et incertaine. L'incertitude des connaissances et la non prévisibilité des états futurs constitue un des enjeux majeurs du passage de la «ville contrôlable» à la «ville complexe».

La connaissance imparfaite de la ville complexe met en crise les approches traditionnelles à l'aménagement et à l'urbanisme (Portugali 2000, Marshall 2012). En économie, Hayek (1967, 1978) avait déjà défendu l'idée que pour un système social complexe nous ne pouvons pas obtenir des connaissances « détaillées » (explicatives ou prédictives), mais seulement « de principe » permettant d'esquisser de manière qualitative les comportements typiques du système. Or, les plans d'urbanisme comme les programmes sectoriels (en matière d'habitat, de transport, d'équipement commercial, etc.) étaient traditionnellement basés précisément sur des connaissances détaillées : la capacité des aménageurs à identifier une quantité de population, d'activités, de services, de bâti à localiser sur un espace bien précis au sein de la ville, justifiant les prescriptions fonctionnelles et de volume du plan.

Selon Taleb (2007), même les connaissances « de principe » pourraient être mise en discussion. Au cours du temps, les systèmes complexes sont soumis à des phénomènes extrêmes, imprédictibles et aux conséquences majeures sur leur fonctionnement futur : les « cygnes noirs ». Il s'agit de changements disruptifs, pouvant avoir des origines tant exogènes qu'endogènes, dont on pourra comprendre les causes seulement après-coup. Ils ne peuvent pas être prévus, ni dans leur nature, ni dans leur magnitude, ni dans leur probabilité d'occurrence.

Est-ce que cela veut dire que les villes, comme tous les systèmes complexes, sont vouées à rester à la merci de cygnes noirs imprédictibles et

disruptifs ? À cet égard, Taleb souligne que si ces changements ne sont pas prévisibles, on peut en revanche se focaliser sur les fragilités du système exposé aux cygnes noirs et prendre les décisions qui permettent de le rendre plus résistant, plus résilient, plus antifragile. Nous avons à présent besoin d'éclairer ces trois concepts.

Résilience et antifragilité

La résistance d'un objet, ou d'un système, est sa capacité à ne pas être perturbé (par une perte de forme, de fonctionnalité ou même d'intégrité) par des événements extérieurs. La poursuite de la résistance est une approche classique dans la conception des objets, des structures bâties et de la protection vis-à-vis des aléas. Construire la digue susceptible de protéger la ville de la plus haute inondation prévisible a ainsi été une réponse classique à l'aléa hydrologique. Or, il s'agit d'une quête impossible pour des systèmes ouverts dans un contexte d'incertitude profonde et de cygnes noirs.

Le concept de résilience vient d'abord de la science des matériaux. Il désigne la capacité d'un matériel à absorber une déformation et revenir ensuite à la forme initiale et correspond, en cela, à une forme de résistance dynamique. Par analogie on peut parler de résilience d'un système à récupérer une certaine fonctionnalité, ce qui amène à produire autant de concepts de résilience spécifique que de fonctionnalités visées (par exemple, la résilience d'un système de transport à revenir à un fonctionnement normal après une perturbation), ce qui pose la question, désormais reconnue, de la résilience de quoi par rapport à quoi (Carpenter et al. 2001).

Deux développements fondamentaux du concept de résilience viennent de l'écologie. Ils sont liés au fait que les écosystèmes sont des systèmes complexes, auto-organisés, non-téléologiques (ils n'ont pas une seule fonction objectif cfr. Marshall 2012) et possèdent un fort contenu spatial.

Le premier est celui de résilience générale (Holling 1973). En écologie, la résilience générale est « une mesure de la persistance des systèmes et de leur capacité à absorber le changement et la perturbation pour continuer à maintenir les mêmes relations entre les populations et les variables d'état¹ » (p.14).

Dans la suite de son article fondateur, Holling identifie trois propriétés-clés pour la résilience des écosystèmes : à la seule persistance, contenue dans la définition de résilience, la complexité des écosystèmes permet d'ajouter également de l'adaptabilité et de la transformabilité. L'adaptabilité est la capacité du système à déplacer ses seuils de persistance, en réponse à des changements internes ou externes, elle est aussi associée à des propriétés trans-scalaires de l'écosystème, permettant de rééquilibrer de façon dynamique l'organisation interne en mobilisant les différentes échelles des composantes et des sous-systèmes. La transformabilité est même un

¹ Ma traduction.

dépassement de la persistance, car elle est la capacité de l'écosystème à se transformer radicalement, lorsque les limites mêmes de l'adaptabilité sont dépassées. Des nouveaux fonctionnements apparaissent, la composition et l'organisation de l'écosystème ne sont plus les mêmes et pourtant... des anciennes composantes ont trouvé une nouvelle vie, d'autres ont changé de rôle, l'écosystème ne s'est pas effondré, il a muté.

Holling (1973) ainsi que Carpenter et al. (2001) proposent ensuite la théorie du cycle de renouvellement adaptatif des écosystèmes, montrant quelles trajectoires peut prendre un écosystème résilient pour passer récursivement d'une phase d'exploitation intense par des espèces colonisatrices à une phase de plus grande organisation et présence d'espèces « stabilisantes », en passant par de phases intermédiaires de réorganisation et de décharge. Holling montre toute l'importance des perturbations externes (feu, inondation, etc.) à déclencher ces cycles : la résilience n'est pas une simple capacité à absorber la perturbation externe, mais c'est précisément la solution organisationnelle d'un système complexe qui doit constamment faire face à la perturbation externe et tire profit de cet état de fait... un renvoi au concept d'antifragilité que je présenterai plus bas. Sur ces bases, Folke et al. (2004) qualifient les écosystèmes de systèmes complexes adaptatifs et posent les bases de leur gestion durable, informée de leurs capacités auto-adaptatives. Holling et Sanderson (1996) proposent même une adaptation des cycles adaptatifs pour les systèmes sociotechniques. Inspirés par les cycles de renouvellement sociotechniques dans l'économie de marché proposés par Schumpeter (1942), ces auteurs reconnaissent qu'une différence fondamentale par rapport aux écosystèmes est la tension vers le changement et l'innovation qui est interne au système sociotechnique et ne provient pas de son environnement naturel.

Le second concept est celui de la résilience spatiale. Pour Cumming (2011) elle souligne le rôle de la dimension spatiale dans les écosystèmes. La résilience spatiale concerne la manière avec laquelle la variation spatiale de variables clés, à la fois à l'intérieur ou à l'extérieur du système, influence (et est influencée par) la résilience générale du système à travers des multiples échelles spatio-temporelles. Des propriétés trans-scalaires, tout comme les facteurs de forme des écosystèmes (connexions par des corridors, allongement/compacité/fragmentation des habitats, etc.) reviennent alors au centre des mécanismes par lesquels un écosystème est capable de montrer de la résilience, au de-là de la seule diversité des espèces présentes.

Un dernier concept, proposé par Taleb (2012), est celui d'antifragilité. Pour Taleb, il existe en effet une triade de concepts. Le premier est celui de fragilité qui est l'incapacité d'un objet ou d'un système à résister à un aléa externe : toute sollicitation risque d'en provoquer la rupture physique et fonctionnelle. Un second concept que l'on peut lui opposer est celui de résistance (que nous avons déjà présenté). Ce concept peut englober celui de résilience dans le sens le plus restreint de résistance dynamique, capacité à revenir à la forme initiale

après une sollicitation (la résilience de la science des matériaux). Un système résistant/résilient possède la capacité de se préserver inaltéré dans un environnement qui le soumet à des perturbations aléatoires. Mais cette opposition fragile/résistant ne permet pas de caractériser les systèmes qui s'améliorent par l'exposition à des perturbations. L'antifragilité est alors définie précisément comme la caractéristique des systèmes auto-organisés et adaptatifs à améliorer leur organisation interne et leurs fonctionnements suite à la survenue de perturbations aléatoires. La vie biologique et la plupart des systèmes sociaux (surtout ceux qui sont auto-organisé et pas corsetés par une organisation rigide qui ne peut pas évoluer) sont pour Taleb de très bons exemples de systèmes antifragiles. En dépit de l'opposition de Taleb à assimiler l'antifragilité à la résilience, je pense que les deux concepts sont relativement proches lorsque la résilience est définie comme résilience générale, adaptative et transformative au sens d'Holling. On pourrait identifier l'antifragilité comme une résilience générale à fort degré de transformabilité permettant au système d'acquérir une auto-organisation toujours plus complexe. L'attention est clairement mise sur les processus évolutifs au sein d'une histoire des systèmes complexes, et pas sur une dynamique de renouvellement adaptatif revenant cycliquement aux mêmes fonctionnements. C'est l'innovation dans l'évolution des espèces et des écosystèmes, et surtout dans les systèmes sociotechniques qui caractérise l'antifragilité. Si les perturbations aléatoires sont nécessaires à entretenir les cycles de renouvellement adaptatifs, elles le sont encore plus pour permettre à un système complexe auto-organisé d'entretenir son antifragilité. En paraphrasant Lénine, l'antifragilité serait ainsi l'état suprême de la résilience.

Résilience et antifragilité des formes de la ville physique

Tous les concepts développés jusqu'à ici, issues de l'étude des écosystèmes, ou des systèmes sociotechniques en général, nécessitent des déclinaisons particulières si l'on souhaite les appliquer à la ville. La ville est bien un système complexe auto-organisé à fort contenu spatial, mais avec une auto-organisation bien particulière et, surtout, une spatialité, la forme urbaine, bien spécifique. Existe-il une théorie de la résilience urbaine ?

Il existe une vaste littérature sur la résilience urbaine, mais elle concerne essentiellement la résilience socio-écologique de la ville, réduisant les fonctionnements urbains à une interaction avec les écosystèmes (Newmann and Jennings 2009, Ernstson et al. 2010, Biggs et al. 2015). Il s'agit d'une perspective clairement centrale en vue du changement climatique et de l'épuisement de certaines ressources naturelles, dans des optiques de métabolisme urbain, de services écosystémiques dans la ville, etc. La résilience socio-écologique n'est néanmoins pas le centre de ma réflexion. Ce qui nous préoccupe ici est la résilience générale de la ville dans ses fonctionnements humains, avec une attention particulière au rôle joué par la spatialité de la ville physique.

Par ailleurs, par rapport à la définition même de résilience générale proposée par Holling pour les écosystèmes, les travaux sur la résilience urbaine se sont essentiellement focalisés sur la question de la persistance des fonctionnements urbains face à une perturbation, en oubliant la résilience face au changement. Les conséquences catastrophiques de l'ouragan Katrina à la Nouvelle Orléans ont souligné l'importance de comprendre ce qui peut fragiliser les fonctionnements d'une grande ville occidentale face à une perturbation majeure (ici environnementale). Or, ce qui différencie le plus les villes des écosystèmes est précisément leur capacité à créer et diffuser le changement sociotechnique comme dynamique endogène (Pumain 2012, mais également Holling et Sanderson 1996). De surcroît, la perturbation est momentanée et on étudiera la réorganisation du système après son passage, le changement est permanent et entraîne normalement davantage d'adaptation et de transformation, pas un simple retour à la normale. Pour être très concret, la construction de nouveaux objets métropolitains (un aéroport, un quartier des affaires), la tertiarisation, la quaternarisation (Debonneuil 2007) ou encore la décarbonisation de l'économie urbaine, le vieillissement de la population et le changement des styles de vie urbains sont autant de changements par rapport auxquels la ville doit faire preuve de résilience adaptative et transformative.

Finalement, l'organisation spatiale de la ville, avec son maillage réticulaire et son pavage parcellaire, n'est pas celle des écosystèmes. La résilience spatiale de Cumming est alors un excellent point de départ, mais on se gardera bien de transposer la spatialité des écosystèmes à celle des formes et des fonctionnements humains de la ville. La résilience urbaine face au changement et en vertu de sa forme physique est un domaine de recherche pour lequel un agenda de recherche reste à bâtir. Pour délimiter l'ambition de cette direction de recherche, je me focaliserai ici sur la résilience de la ville physique, l'*urbs* : dans quelle mesure la forme urbaine est résiliente face au changement ? Dans quelle mesure est-elle fragile au risque d'obsolescence pouvant condamner un pan entier de la ville à une destruction/reconstruction intégrale ? Il s'agit, clairement, d'une contribution à une évaluation plus globale de la résilience de la société urbaine mettant en relation le contenu (la *civitas* et ses fonctionnements) avec le contenant (l'*urbs*). Plusieurs auteurs permettent d'identifier des aspects plus ciblés, contribuant à cette perspective plus spécifiquement morphologique.

Voiron-Canicio (2015) souligne la nécessaire prise en compte des différentes échelles de la ville, mais surtout le fait que la production de l'innovation dans la ville est une clé de la résilience urbaine. Voiron-Canicio et Dutozia (2017) repositionnent encore plus clairement la question de la résilience urbaine dans le cadre de l'incertitude inhérente aux systèmes complexes, et pas uniquement dans celui des systèmes d'aléa et de risque. L'innovation joue un rôle essentiel dans l'appréciation de la résilience urbaine, et dans son acception plus générale : c'est l'apparition d'une nouveauté,

produisant une rupture dans les fonctionnements du système et ayant une spatialité et une temporalité. L'arrivée de l'électromobilité ou le développement d'un réseau de TCSP dans une ville sont ainsi pour ces auteurs autant d'innovations, de changements demandant à la ville un fort degré de résilience adaptative et transformative.

L'intégration de l'organisation spatiale de la ville et de sa résilience a été entamée par la prise en compte des réseaux techniques urbains, sous la suggestion des recherches sur la résilience dans les réseaux complexes. Ces dernières possèdent une longue tradition, depuis l'article fondateur d'Albert et al. (2000). Le centre de ces recherches est en tout cas toujours la résilience en tant que persistance de l'intégrité d'un réseau (réseau de télécommunications, réseau de transport, réseau social) face à une attaque externe. On étudie ainsi de quelle manière un réseau reste fonctionnel, en demeurant complètement connecté, sous différents scénarios de perturbations (attaques ciblées, défaillance aléatoire, etc.). Appliquant ces concepts aux cas des réseaux de la ville, Lhomme (2012), ainsi que Toubin et al. (2012) soulignent la nécessité de prendre en compte l'interconnexion entre les nombreux réseaux techniques (transports, eaux, énergie, télécommunications). Interdépendances et effets dominos en cas de perturbation débilante sont également identifiés par Voiron-Canicio et Dutozia (2017). La forme urbaine est plus spécifiquement intégrée dans les analyses de la résilience configurationnelle, dont les bases sont posées par Hillier (1996), mais qui a été surtout développée en Italie et en Suède : Cutini (2013), Cutini et Di Pinto (2015), Esposito et Di Pinto (2015), Koch et Miranda Carranza (2013), Marcus et Colding (2014), Abshirini et Koch (2017).

Marcus et Colding (2014) proposent une tentative ambitieuse de relier les analyses configurationnelles de la syntaxe spatiale aux approches de la résilience de Holling, mais leurs analogies ne sont pas toujours très convaincantes. Ces auteurs soulignent en revanche une perspective essentielle : une meilleure connaissance des propriétés morphologiques qui confèrent une résilience accrue à la ville permettra de contrecarrer des trajectoires de développement indésirables, donnant au projet des formes (le *design*) un rôle central dans la construction de la résilience urbaine.

En réalité, dès les origines de l'analyse des réseaux viaires appelée « syntaxe spatiale », Hillier (1996) avait identifié la configuration des réseaux comme une interface majeure du fonctionnement socioéconomique de la ville. Un autre concept clé vient des réflexions sur les relations inter-scalaires des propriétés configurationnelles. La synergie est définie par Hillier comme étant le degré de dépendance des propriétés configurationnelles locales par rapport aux mêmes propriétés évaluées globalement dans l'espace urbain. Si, par exemple, les valeurs d'intégration locale sont fortement corrélées aux valeurs globales, alors des modifications locales des réseaux auront des répercussions limitées sur les propriétés configurationnelles de la ville dans son ensemble et de chaque élément du réseau. Sur ces bases, différentes

recherches ont permis de mieux cibler ce qui pourrait être propre à la résilience urbaine dans une approche configurationnelle. Ces recherches continuent néanmoins à se situer dans un contexte de perturbation externe du système morphologique urbain, d'étudier sa capacité à assurer ses fonctionnements suite à cette perturbation débilante, mais n'aborder pas la dimension du changement sociotechnique.

La perturbation débilante est une crue dans Esposito et Di Pinto (2015), un tremblement de terre dans Cutini (2013), une éruption volcanique dans Cutini et Di Pinto (2015), l'effondrement des ponts et des ensembles de coupures ciblées du réseau dans Abshirini et Koch (2017). Par rapport à la seule persistance de la connectivité du réseau, des ensembles de propriétés configurationnelles sont évaluées avant et après la perturbation. Ainsi, Cutini (2013) et Cutini et Di Pinto (2015) proposent de suivre trois propriétés configurationnelles : la synergie (définie comme dans Hillier 1996), la connectivité moyenne et un indice d'intermédiarité relative, appelé indice de fréquence (rapport entre l'indice de choix maximal dans la configuration et le nombre maximal théorique de chemins minimaux dans une configuration de n éléments). La résilience configurationnelle augmenterait corrélativement à l'augmentation de la synergie et de la connectivité moyenne, et à la diminution de l'indice de fréquence (car, dans ce cas, la configuration est moins dépendante d'un seul élément à très forte intermédiarité). Koch et Miranda (2013) proposent deux autres propriétés configurationnelles pour mesurer la résilience, propriétés qui seront finalement utilisées par Abshirini et Koch (2017) à l'échelle d'une ville : la similarité et l'identité (*sameness*). Si, après perturbation, la configuration du réseau viaire d'une ville maintient la même emprise spatiale du réseau d'avant-plan (similarité) et la même constitution de ce réseau en termes d'éléments qui le composent (*sameness*), alors la configuration est considérée comme étant résiliente face à la perturbation.

Comme on le voit, et comme admis par ces auteurs, la résilience est toujours évaluée en termes de persistance de certaines structures face à une perturbation. La transformation de la configuration est vue comme un manque de résilience, surtout dans la mesure où on évalue un comportement à court terme, suite à une perturbation, et pas un potentiel de réadaptation/transformation suite à un changement permanent.

Des auteurs comme Alexander (2002-05) et Salingaros (2005) abordent la résilience de la forme de manière plus générale et par rapport à des changements permanents que la ville doit pouvoir absorber. Ils perdent en revanche le caractère opérationnel des démarches analytiques issues de la syntaxe spatiale. Cette position est bien résumée dans Mehaffy et Salingaros (2013). Le point de départ est toujours l'observation de ce qui rend les écosystèmes et les autres systèmes biologiques résilients :

1. Ces systèmes ont une structure réticulaire hautement interconnectée.

2. Ils présentent beaucoup de diversité et de redondance et ne ciblent pas l'efficacité.
3. Ils montrent une grande articulation de structures sur toutes les échelles, à partir des plus fines.
4. Ils ont la capacité de s'adapter et de s'auto-organiser.

Une réflexion particulière concerne la multiplicité des échelles : la distribution des structures sur toutes les échelles est d'abord fondamentale car elle est une forme de diversité. De surcroît, les éléments d'échelle plus fine constituent et soutiennent ceux des échelles plus grandes, facilitant leur régénération et adaptation. Il est ainsi plus simple de remplacer les cellules mortes d'un tissu, que le tissu dans son ensemble. Il y a également une relation entre les dimensions spatiales et les dynamiques temporelles (Salingaros 2005) : les éléments d'échelle plus fine évoluent plus vite et s'adaptent ainsi plus rapidement aux changements de contexte, les plus grandes composantes du système ont en revanche des dynamiques plus lentes (c'est bien la différence entre les espèces colonisatrices et stabilisantes identifiées par Holling). Sans un nombre suffisamment grand de petites composantes, l'écosystème n'est pas capable de réponses rapides et perd à la fois en adaptabilité et en transformabilité. Mais celle des écosystèmes n'est qu'une analogie pour Mehaffy et Salingaros. Une formulation précise des caractéristiques de la résilience urbaine est proposée. Elle fait la part belle aux propriétés de complexité structurelle de la forme urbaine. Ainsi, les villes résilientes présenteraient les caractéristiques suivantes :

1) Elles possèdent des réseaux interconnectés de parcours et de relations, ne sont pas ségréguées dans des catégories nettes d'usage, de type ou de parcours qui les rendraient vulnérables à la défaillance.

2) Elle ont une diversité et une redondance d'activités, types architecturaux, objectifs, fonctionnements et populations. Dans cette diversité réside le potentiel de la résilience au changement (qui ne peut pas être connu en avance).

3) Elles ont une grande distribution d'échelles dans leur structure, de la structuration régionale aux détails les plus fins de la composition urbaine. Combinant cette observation avec les deux points précédents, on obtient des structures diverses, interconnectées qui peuvent être transformées aisément et, surtout, localement, en réponse à des besoins changeants.

4) Les villes et leurs composantes réticulaires, parcellaires, bâties et tissulaires peuvent s'adapter et se réorganiser en réponse au changement sur différentes échelles spatiales et temporelles, et en réponse aux changements entre elles. En d'autres termes, elles peuvent s'auto-organiser et ne tombent pas dans des états dysfonctionnels nécessitant de réinitialiser tout le système

morpho-fonctionnel sur une vaste échelle (un quartier entier ou même un secteur métropolitain). Le processus d'auto-organisation peut même s'accélérer par l'échange d'information et la transformation des connaissances traditionnelles sur l'interaction entre besoins humains, contraintes ergonomiques et contraintes environnementales.

La diversité des échelles permet également aux réponses de pouvoir s'effectuer à plusieurs niveaux. Normalement la ville utilise le changement disruptif pour définir une échelle pivot de réponse, mais les relations inter-scalaires permettront d'articuler cette réponse à toutes les échelles. Par rapport à ce constat, j'observerai uniquement que les réponses les plus fines, celles des acteurs individuels de bâtir une nouvelle parcelle (et comment) ou de restructurer un bâtiment existant, d'ouvrir ou de fermer une activité économique, etc. sont celles qui constituent l'essentiel des réponses autonomes des acteurs. Le changement de l'infrastructure morphologique ou la construction de grands équipements nécessite en revanche de la coordination, par la culture ou par le projet et, dans les deux cas, un passage d'information entre les acteurs. Finalement, pour Mehaffy et Salingaros, les villes résilientes évoluent en gardant l'essentiel du contenu structurel et informationnel précédant, tout en étant capables de répondre au changement en introduisant de la nouveauté. Mais il ne s'agit presque jamais de nouveauté totale, car on introduit seulement l'innovation strictement nécessaire à une structure qui a passé l'épreuve du temps. Toute nouveauté est testée par la sélection, comme dans la nature. Cela exclut les changements les plus drastiques et discontinus car les villes résilientes sont à préservation de structure (*structure-preserving*) même face à des profondes transformations.

Feliciotti et al. (2016) effectuent également une analogie avec les systèmes socio-écologiques. En s'inspirant des proxys proposés par Carpenter et al. (2005), ils parviennent à une première opérationnalisation de la résilience morphologique. Ils montrent comment les dimensions de la diversité, de la connexité, de la modularité, de l'efficacité et de la redondance peuvent servir de support à l'évaluation du potentiel de résilience de formes urbaines réelles. On remarque que le principe d'efficacité est évalué de manière bien différente d'une optimisation des formes par rapport à un programme : la forme est efficace dans la mesure où elle est le fruit d'une auto-organisation, typiquement caractérisée par des distributions en loi de puissance (Salingaros 2005) et des fortes relations trans-scalaires. Les mêmes auteurs (Feliciotti et al. 2017) montreront ensuite comment ce protocole d'analyse peut s'appliquer à une échelle de quartier, prenant comme exemple les différentes formes urbaines prises au cours du XX siècle par le quartier de Gorbals à Glasgow.

La théorie des formes urbains résilientes permet également d'identifier, par opposition, les formes urbaines les plus fragiles. Il s'agit de celles qui sont incapables d'absorber des nouveaux fonctionnements, de s'adapter à des nouvelles demandes sociétales par des modifications graduelles. Les formes

fragiles, même si optimales dans le contexte qui les a produites, présentent un très fort risque de devenir dysfonctionnelles, et par là obsolètes ; elles ne sont pas capables de s'auto-régénérer et demandent des fortes interventions externes, souvent dans la forme d'une démolition-reconstruction complète. L'exemple le plus célèbre est ici celui du quartier de logement sociaux aux formes modernistes de Pruitt-Igoe à St. Louis, Missouri, complètement démoli au milieu des années '70 après à peine 20 ans d'existence. Pruitt-Igoe a été, hélas, seulement le premier d'une longue série de quartiers modernes condamnés à une démolition prématurée. Reconnaître la fragilité des formes présentes ou projetées revête un grand intérêt pour l'urbanisme et l'aménagement urbain.

Quel urbanisme pour la ville résiliente et antifragile ?

La perspective posée par Bleicic et Cecchini (2016) d'un urbanisme pour la ville hautement résiliente et antifragile est différente de celle de Taleb (2007, 2012). Taleb en effet pose la question de la prise de décision antifragile en contexte hautement incertain, du fait de la complexité du système. Comment décider d'une stratégie d'investissement, d'une perspective de carrière, etc. dans un système complexe, dont je n'ai qu'une compréhension de principe et pour lequel je ne peux pas prévoir la survenue du changement radical ? La décision de l'acteur est celle du projet qui se pose dans la complexité. Mais le projet d'une entreprise ou d'un particulier est toujours définissable par un petit nombre d'objectifs à atteindre, il est téléologique. Le projet pour les systèmes sociaux à vocation universelle, comme un pays ou une ville, n'est pas téléologique. La ville se doit d'être antifragile face aux incertitudes de son environnement externe et de ses propres dynamiques sans avoir un objectif particulier à poursuivre. Si nous reconnaissons à l'auto-organisation interne hautement structurée la capacité de rendre le système antifragile et résilient, il ne s'agit plus seulement d'un projet dans la complexité, mais d'un projet pour la complexité : la complexité n'est pas seulement le contexte de l'action, elle est de façon tout-à-fait générique son but.

L'urbanisme pour la ville résiliente et antifragile doit donc catalyser l'auto-organisation du système et la faire tendre vers l'atteignement des propriétés structurelles identifiées par Mehaffy et Salingaros. On peut ainsi identifier une série d'interventions permettant de faciliter les dynamiques auto-organisatives de la ville : les actions visant à mailler et interconnecter le réseau viaire, celles visant à fractionner le pavage parcellaire, à faciliter la mixité fonctionnelle du bâti et à faciliter la coordination des bâtiments, des rues et des parcelles ; ces actions devront être prioritaires surtout là où une intervention d'échelle plus grande (la localisation d'un grand équipement) vient perturber une situation initiale (la démultiplication des petits éléments

permet de mieux y répondre)². Les plus gros projets devraient concevoir dès le début une certaine réversibilité et réadaptabilité par composantes.

On peut plus facilement, par la *via negativa*, identifier les interventions à éviter. *A priori* il s'agit de la spécialisation fonctionnelle, des systèmes de règles interdisant toute évolution spontanée et des projets dont les éléments correspondraient seulement à une échelle précise. Un point de convergence entre les réflexions générales de Taleb (2012) et celles plus spécifiques de Bleicic et Cecchini (2016), Voiron-Canicio (2015) et Mehaffy et Salingaros (2013) est le refus de l'optimisation : un système hautement résilient et antifragile n'est pas optimisé, mais montre une certaine redondance (forcement suboptimale et pouvant être perçue comme un gaspillage de ressources) permettant de mieux s'adapter au changement. Toute intervention visant à optimiser un système complexe par rapport à un objectif donné (utilisation la plus efficace d'une certaine ressource, maximisation d'une certaine performance, résistance par rapport à un aléa précis, capacité à répondre à un changement particulier) induit une fragilisation par rapport aux autres changements qui n'ont pas fait l'objet de l'optimisation. La théorie HOT (*Highly Optimized Tolerance*, Carlson et Doyle 2000) montre, par exemple, que le design peut rendre un système particulièrement robuste à un certain type de perturbation relativement fréquente, mais le fragilise ainsi faisant à ce que Taleb appellerait des cygnes noirs, rendant de ce fait plus probables d'autres types d'instabilités.

Sur ces bases, Salingaros (2005) parvient à une position apparemment très proche de Moroni (2015) : pas de plan rigide pour la localisation des activités (zonage), mais un ensemble de règles pour guider l'auto-organisation du système. En s'appuyant sur l'épistémologie d'Hayek, Moroni propose d'abandonner tout plan d'urbanisme et de permettre aux agents économiques d'auto-organiser la ville dans le respect d'un nombre limité de règles simples et en interagissant au sein d'un marché. Les règles invoquées par Salingaros sont en revanche informées de la connaissance de la complexité structurelle demandée à la ville résiliente. Il s'agit d'une connaissance de principe, au sens d'Hayek, mais elle permet néanmoins d'identifier les grandes lignes d'une organisation spatiale et d'une forme souhaitable : interconnexions, diversité, redondance, relations trans-scalaires en loi de puissance, etc. L'essentiel de ces propriétés est le produit de l'auto-organisation, mais les règles doivent être conçues pour faciliter et pas pour être neutres (ou encor pire pour contrarier) ces objectifs.

² Salingaros (2005), Alexander et al. (1977) et, avant eux, déjà Jacobs (1961) soulèvent le problème des l'inter- vention massive des grands projets (publics ou privés). Alexander suggère qu'un grand projet devrait toujours prévoir comme complément des enveloppes financières équivalentes pour quelques projets moyens et pour une multitude de petits projets individuels, permettant aux acteurs urbains de reconfigurer le quartier en réponse au grand projet.

Salingeros reconnaît la nécessité de ce que l'on pourrait appeler des « formes à haut potentiel de changement », physique et fonctionnel, et voit la possibilité de guider leur génération par un système de règles. Cependant il ne prend pas en compte la dialectique entre infrastructure morphologique (réseau viaire et trame parcellaire, à plus grande inertie temporelle) et superstructures (bâti et espaces vides). Les fonctions devraient former une « toile urbaine » de relations de proximité, qui pourrait être le produit émergeant de décisions individuelles prises par les acteurs dans un système de règles appropriées. Mais comment concevoir une infrastructure morphologique susceptible de catalyser cette toile urbaine ? La coordination des acteurs individuels, par la culture ou par le projet s'impose comme une nécessité.

Dans l'arsenal des solutions de projet compatibles avec la complexité structurelle de la ville, Salingeros fait référence au langage des patrons (*pattern language*) de C. Alexander. Dans « *A pattern language* » (Alexander et al. 1977) et « *A new theory of urban design* » (Alexander et al. 1987), Alexander propose des solutions opérationnelles pour l'architecte et l'urbanisme souhaitant intervenir sur la ville complexe. Alexander pose la question de la génération de formes aptes à répondre à des besoins fonctionnels identifiés, sans perdre de vue leur contribution à la solution d'autres problèmes morpho-fonctionnels, en passant par une méta-modélisation du problème (les *patterns*). Un *pattern* est une solution mise au point au cours du temps pour répondre à un besoin au sein d'un système. L'approche des *patterns* peut être vraiment transversale à différents domaines de connaissance. D'autres domaines disciplinaires ont développé l'approche du *pattern language*, notamment les sciences informatiques (dans le développement du code de systèmes logiciels complexes), mais également la médecine, la pharmacologie ou la psychologie, qui ont dû partir d'une grande base de connaissance phénoménologique de solutions-type avant de pouvoir systématiser ces connaissances par des approches plus théoriques.

Plus particulièrement, les *patterns* urbanistiques et architecturaux sont des solutions de forme physique, sédimentées par les sociétés humaines au cours de millénaires. De ce point de vue, ils ne sont pas sans rappeler les types architecturaux et les tissus urbains identifiés par la morphologie urbaine (Caniggia et Maffei 1979). Mais si ces types sont historiquement et culturellement situés, les *patterns* ressemblent davantage à une collection des meilleures solutions trouvées au cours de l'histoire (au moins dès qu'un problème se présentait historiquement) à des problèmes types. Les *patterns* sont préscientifiques (ce qui leur vaut un certain nombre de critiques) : avant d'être prouvés par une démarche analytique qu'opérationnalise une théorie scientifique, les *patterns* sont d'abord fondés sur l'observation phénoménologique du succès des solutions qu'ils offrent. Dans la pratique, le *pattern language* répond à un double problème : c'est d'abord une manière de comprendre et possiblement de contrôler un système complexe, et c'est

ensuite un outil nécessaire à la conception de solutions structurellement et fonctionnellement cohérentes tirant profit de l'expérience accumulée par les réponses données dans le passé aux mêmes problèmes. Les solutions types identifiées par Alexander ont été mises à l'épreuve du temps (siècles et parfois millénaires) et sont vraisemblablement moins fragiles que celles proposées par les approches cartésiennes du mouvement moderne (qui inévitablement, pour optimiser un aspect fonctionnel à une échelle donnée oublie la multitude de relations complexes inobservées). L'assonance est forte avec l'approche de l'antifragilité vérifiée par l'épreuve du temps, l'effet Lindy, proposée par Taleb (2012) et, avant lui, par Mandelbrot (1982) : une technologie ayant fait la preuve de sa capacité d'adaptation sur un temps très long est susceptible de survivre encore longtemps, tandis qu'une technologie nouvellement arrivée possède, en moyenne, une espérance de vie très courte (ce qui n'exclut pas qu'un petit nombre de nouvelles technologies puisse continuer à survivre ... le temps nous le dira).

Alexander et al. (1977) proposent ainsi un ensemble de 253 *patterns* pour des solutions de projet allant du détail architectural aux plus grandes composantes de la forme urbaine (les limites des secteurs urbains, les grands équipements, etc.). Salingaros (2005) souligne que le message le plus important du travail d'Alexander n'est pas la collection de *patterns* (certains sont questionnables, d'autres pourraient trouver des meilleures solutions au cours du temps), mais le fait que les *patterns* possèdent des interconnexions qui permettent des assemblages plus ou moins complexes. Le *pattern* « comment créer un front bâti sur la rue, susceptible d'animer l'espace public de la rue » a par exemple une connexion avec le *pattern* « comment créer une limite de bâtiment gaufré et crénelé, abritant des nœuds piétons et des activités ouvertes au public », posant des contraintes sur la conception des bâtiments qui concourent à composer le front bâti. C'est l'existence des connexions qui permet de parler d'un *pattern langage* et pas seulement de collection de *patterns*, car ces derniers ne constituent que le vocabulaire d'une langue faite de connexions logiques multiples entre ses constituants élémentaires.

Plus particulièrement, l'assemblage des *patterns* se fait en deux dimensions. Horizontalement, à la même échelle spatiale d'intervention, plusieurs *patterns* s'impliquent réciproquement pour apporter ensemble une solution à un problème plus complexe (par exemple les différents *patterns* concourant à la composition du bâtiment ou à la structuration du quartier). Verticalement, chaque élément urbain ou architectural étant à son tour un système d'éléments plus menus et concourant à composer des systèmes plus vastes, un *pattern* doit établir des connexions vers ceux de taille immédiatement inférieure et supérieure. C'est le système de ces connexions horizontales et verticales qui permet à un ensemble de *patterns* d'offrir des solutions cohérentes et robustes à la production de formes urbaines et architecturales. En même temps, le non-respect d'un ou plusieurs *patterns* (ou

pire l'adoption d'*anti-patterns*) à un certain niveau, perturbe le fonctionnement des autres *patterns*, même si le système des *patterns* dans leur ensemble est capable d'une certaine résilience. La prise en compte de l'ensemble cohérent, intra-scalaire et inter-scalaire des *patterns* employés permet d'avoir une vision holistique du système urbain produit, où certaines propriétés de l'ensemble (cohérence, résilience, richesse informationnelle) découlent d'avantage des interconnexions multiples entre les *patterns* que des *patterns* pris individuellement.

Même si un argument en faveur des *patterns* est celui de son utilisation dans le passé, surtout dans le cadre des contextes urbains traditionnels, Alexander n'affirme pas que les *patterns* identifiés aient toujours régi les transformations urbaines et architecturales au cours de l'histoire. Il est même fait état de réalisations (surtout au cours du XX^e siècle, notamment sous l'influence du mouvement moderne en architecture et en urbanisme) d'*anti-patterns* ayant été intégrés dans la pratique professionnelle et même dans les préconisations réglementaires d'urbanisme.

Finalement, comme le reconnaît également Salingaros (2005) le langage des patrons est la meilleure approche que l'humanité a pu mettre au point pour comprendre, intervenir sur, et éventuellement contrôler, un système complexe auto-organisé d'artefacts. Pour les disciplines du « design » (architecture, urbanisme, sciences informatiques, etc.) elle est également un nécessité pour produire des interventions fonctionnellement et structurellement cohérentes avec l'ensemble du système pour lequel elles sont conçues. Le développement d'approches analytiques des systèmes de *patterns* d'Alexander me semble une contribution précieuse que notre communauté scientifique peut apporter pour corroborer ou invalider ces propositions.

Prospecter une ville résiliente

Que retenir de ces différentes suggestions pour la ville résiliente et antifragile ? Je propose une possible synthèse par une ébauche de réflexion prospective sur les formes de la ville future par l'approche de la *via negativa*. Il s'agit ici d'un exercice purement qualitatif, qui interpelle des projets de recherche plus analytiques pour corroborer (voire remettre en discussion) ceux qui ne sont, à ce stade, que des hypothèses. L'exercice répond à la demande suivante : quelles formes urbaines auront les villes dans un siècle et quelles stratégies d'intervention sont concevables dès aujourd'hui dans cette perspective ?

Sur cet horizon, il n'est pas possible de procéder par extrapolation du plus vraisemblable à court terme en faisant, par exemple, l'hypothèse de la poursuite du type de nouvelle urbanisation observée au cours des deux-trois dernières décennies. Trop de bruit pollue notre vision du futur au fur et à mesure que la réflexion s'éloigne dans le temps, d'autant plus que la

probabilité augmente pour la survenue de changements disruptifs (les cygnes noirs), mettant en crise les formes les plus fragiles. Il est également impossible de prévoir les nouvelles formes qui pourront les substituer (et qui risquent d'être à leur tour fragiles). Ne nous aventurons pas alors à spéculer sur les formes du futur, toute hypothèse serait hautement fragile. Procédons par la *via negativa* (Taleb 2012) en soustrayant à la ville d'aujourd'hui tout ce qui, très probablement, est voué à disparaître. Nous pouvons en effet porter notre raisonnement sur la fragilité des formes existantes : quelles sont celles plus ou moins susceptibles de résister aux changements futurs ?

Les formes les plus anti-fragiles sont celles susceptibles de s'adapter et de se transformer, même si en général c'est le système morphologique urbain qui doit être anti-fragile, des formes particulières pouvant être fragiles. Je me limiterai ici à raisonner sur les tissus urbains (le même pourrait être dit des configurations). Comme j'ai déjà remarqué, les tissus urbains ne sont pas des objets périssables, mais des arrangements de rapports spatiaux ayant un contenu informationnel (ils pourraient être assimilés à des *patterns* au sens d'Alexander). Des bâtiments peuvent être remplacés, d'autres modifiés, quelques parcelles fusionnées ou démembrées... le tissu gardera encore son identité.

On peut considérer la durée de vie déjà observée pour les différentes formes tissulaires. Les plus anciennes, les réseaux maillés irréguliers avec alignement et mitoyenneté et grand fractionnement du bâti et du parcellaire, sont celles susceptibles de perdurer le plus longtemps. On les observe, sous différentes variantes, depuis plusieurs milliers d'années (depuis Mohenjo Daro et Jéricho). Viennent ensuite les tissus maillés plus réguliers, au bâti continu et aligné et aux rues de plus grand gabarit, produits après la révolution industrielle. Les plus anciens ont déjà deux siècles d'histoire (et il y a même des exemples prémodernes), ils ont absorbé l'arrivée de l'industrie dans la ville, accueilli des nouveaux bâtiments spécialisés, montré une certaine capacité à accueillir le tramway d'abord et l'automobile ensuite, des fonctions et des populations différentes. Ces deux formes tissulaires se caractérisent également par une grande richesse d'espaces publics (les éléments morphologiques les plus souples en termes d'usages possibles et à plus haut potentiel de catalyse d'interaction sociale). Elles seront vraisemblablement là, avec quelques modifications, dans cent ans.

Que pouvons-nous présager pour les tissus pavillonnaires arborescents, ou pour les concentrations de grands équipements spécialisés, très récents (moins d'un demi-siècle) et issus d'une optimisation (minimisation du réseau de desserte et optimisation de l'attractivité résidentielle pour des familles motorisées avec enfants pour les premiers, optimisation fonctionnelle pour les seconds) ? Il est vraisemblable qu'ils ne résisteront pas à quelques choc futur (choc énergétique ? raréfaction des sols constructibles ? obsolescence des fonctions pour lesquelles l'optimisation avait été conçue ? nouvelles pratiques socioculturelles dans les fonctionnements urbains ? changements

socio-démographiques comme le vieillissement et l'augmentation de la diversité des populations urbaines ?). D'où la nécessité pour l'urbaniste de prévoir les modalités de leur adaptation/transformation en reconnaissant le potentiel de chacune de ces formes tissulaires. Les tissus périurbains se caractérisent ainsi par la grande multiplicité d'initiatives individuelles facilement mobilisables (chaque ménage pouvant aménager sa parcelle de manière relativement flexible si les règles d'urbanisme le lui permettent), pourraient même être particulièrement aptes à certains scénarios (par exemple celui de la production énergétique distribuée). Reste le frein de l'infrastructure morphologique qui n'est pas très connective, notamment le réseau viaire qu'il faudra recoudre et le système d'espaces publics qu'il faut créer. Les grands équipements et les concentrations monofonctionnelles (quartiers des affaires, campus universitaires, grands hôpitaux, zones d'activité, etc.) sont les plus fragiles car il ont les plus faibles capacités d'auto-organisation. Il devient nécessaire ici de faire sauter les règles ayant régi la conception de ces fragments urbains en introduisant le fractionnement des lots et des parcelles, la souplesse morphologique (possibilité de la part des acteurs individuels de modifier les formes bâties et les fonctions abritées), la promiscuité des usages, la réversibilité des fonctions ... tout en travaillant sur l'interconnexion des réseaux viaires et la création d'espaces publics.

Au niveau tissulaire, une question de fond est également l'articulation spatiale entre les régions morphologiques. Une aire métropolitaine proposant une multiplicité de régions morphologiques plus traditionnelles bien réparties au sein d'une grande diversité de formes périurbaines et de tissus discontinus modernes serait plus résiliente et antifragile par rapport à un seul centre-ville traditionnel noyé dans un vaste espace périurbain qui serait à son tour relativement homogène d'un point de vue spatial. Le risque ici est que des pans entiers de la ville puissent devenir obsolètes et soient incapables de s'auto-régénérer en profitant de la présence de fragments urbains plus résilients à proximité.

La réflexion peut devenir également morpho-fonctionnelle. En termes de mobilité, par exemple, quels modes seront utilisés d'ici un siècle et, surtout, si nous devons intervenir sur la ville d'aujourd'hui, quelles interventions infrastructurelles seront moins fragiles aux aléas des technologies disruptives de demain ? Faut-il concevoir des formes urbaines de manière à favoriser une technologie de transport en particulier ? De ce point de vue, il est tout-à-fait légitime de réfléchir sur l'échelle d'un siècle, car une morphologie urbaine conditionnera les fonctionnements de la ville bien au-delà des horizons habituels des projets de transport (20-30 ans).

Les prospectivistes classiques réfléchiront ici à la maturation des technologies qui sont déjà en cours de développement aujourd'hui, de l'électromobilité à la voiture autonome. Les urbanistes ont souvent critiqué l'automobile et ont vu dans l'épuisement du pétrole sa fin proche, mais l'automobile a l'avantage d'une grande souplesse (à partir du fait qu'il s'agit

d'une technologie mobilisable par les individus), possède plus d'un siècle d'histoire et les nouvelles technologies peuvent lui donner une nouvelle vie. Mais on pourrait aussi bien faire l'hypothèse que des transports en commun innovants puissent bénéficier de nouvelles révolutions technologiques (bus autonome, *hyperloop*, etc.) et remplacer l'automobile dans un contexte de pénurie de sources d'énergie.

Réfléchir sur un siècle est vraiment un défi et la prospective technologique à ces horizons, a ses limites. Ratti (2017) relate que le Boston Globe avait publié un numéro spécial en décembre 1900 proposant un scénario pour la ville des années 2000 : la mobilité des personnes et des marchandises y était désormais assurée uniquement par des dirigeables et par la poste pneumatique, les trottoirs avaient été substitués par des tapis roulants, les rues, finalement inutiles, étaient devenues des parcs ou abritaient des bâtiments. On peut sourire à la facilité par laquelle les technologies naissantes de la décennie écoulée pouvaient obnubiler la réflexion des contemporains, rendant leur scénario fragile à tout changement du contexte sociotechnique. Mais comment éviter de tomber dans le même piège ? Nous pouvons à nouveau revenir à la *via negativa* et à l'effet Lindy : le mode de transport qui a été présent tout au cours de l'histoire plurimillénaire de la ville est la marche et il est sûr que nous continuerons à marcher dans nos villes d'ici un siècle (n'en déplaise aux lecteurs de *science-fiction*). Tout investissement sur les infrastructures qui permettent le mouvement piéton (trottoirs, places, promenades, etc.) seront les moins fragiles dans tout scénario de prospective urbaine, tout urbanisme facilitant le mouvement piéton sera le moins fragile face aux inconnues du développement sociotechnique. De surcroît, ces interventions, favorisant le maillage des rues, la connectivité, la coordination entre façades des bâtiments et trottoirs, et les échelles les plus fines de l'organisation de l'espace urbain, sont celles qui favorisent déjà la résilience dans son ensemble, permettant l'adaptation des tissus à l'insertion/élimination d'équipements plus lourds.

Pour le reste des stratégies d'intervention, on mobilisera le principe de précaution (éviter les irréversibilités), la redondance programmée, la renonciation à l'optimisation, etc. tous les principes identifiés dans les pages qui précèdent. Vraisemblablement il ne s'agit pas non plus d'interdire toute forme urbaine qui ne respecterait pas la vision que nous nous faisons aujourd'hui d'une ville résiliente et antifragile : la ville dans son ensemble peut et doit expérimenter (des nouveaux besoins apparaissent, des nouvelles solutions sont proposées), à condition de laisser une place de choix aux formes déjà testées par l'histoire urbaine. Les grandes villes européennes multimodales et aux formes urbaines multiples, de Berlin à Barcelone sont, de ce point de vue, relativement moins fragiles que certaines grandes villes nord-américaines tels qu'Atlanta, qui a optimisé sa forme urbaine par rapport à la seule technologie automobile.

Ma réflexion se limite à la résilience morphologique de la ville, bien d'autres considérations devront ainsi être faites en matière de résilience socioéconomique, mobilisant probablement des analyses semblables sur les caractéristiques du capital humain et des réseaux sociaux de la ville. Les deux résiliences sont par ailleurs liées, comme le montre la perte de capital social à l'occasion des opérations de rénovation urbaine (Meslin et Rousselot 2013). Cette ébauche n'est qu'un exercice très qualitatif, informés des fragilités à éviter et de quelques hypothèses pouvant les justifier. Par sa sobriété et son refus de se faire prendre au jeu de la surenchère technologique de la *smart city*, il a le mérite d'un exercice de purge intellectuelle.

Une véritable démarche prospective portée par les acteurs urbains peut s'en servir, mais ne peut pas s'en contenter. Et cela pour différentes raisons. D'abord parce-que, pour les acteurs, le véritable enjeu est : dans quelle ville souhaitons-nous nous projeter demain ? et quel degré de coordination sommes-nous prêts à accepter pour atteindre cet objectif ? Dans ce contexte, éminemment politique et sociétal, l'horizon d'un siècle n'est normalement pas usuel, mais il peut être intéressant d'informer une prospective à 20-30 ans de ce qui pourrait être légué à nos arrière-petits enfants d'ici un siècle et qui pourrait, par-là, donner un sens aux choix effectués par notre génération.

Ensuite, parce-que la demande d'expertise qui nous sera formulée en tant que scientifiques, ira nécessairement au de-là de ces considérations de principe. Le géographe et l'urbaniste devront pouvoir fonder les hypothèses ici esquissées avec des recherches analytiques permettant de décliner plus précisément ce que l'on sait et ce que l'on ne sait pas (ou ce que l'on sait seulement de manière incertaine) sur le potentiel des différentes formes urbaines et sur les relations qui les lient aux fonctionnements de la ville. Les scientifiques pourront alors contribuer à identifier des nouvelles stratégies, corroborées par les plus récentes recherches sur la complexité de la spatialité urbaine, pour intervenir avec « modestie épistémique » sur cette dernière et parvenir à des villes plus résilientes et antifragiles. La modestie épistémique est en effet la reconnaissance des limites de nos connaissances scientifiques, mais nous avons néanmoins besoin de savoir ce qu'il est mieux de faire ici, aujourd'hui. C'est toute la tension cognitive du passage disciplinaire de la géographie urbaine à l'urbanisme. Nous devons reconnaître l'existence de différentes connaissances propres à ces deux disciplines.

Connaissance, conscience et résilience urbaine

Dans l'Étique à Nicomaque, Aristote (2004 dans la traduction de Richard Bodéüs) articule sa théorie de la connaissance autour de trois concepts : *épistémè*, *techné* et *phronesis*. L'*épistémè* est la connaissance scientifique, des universels que l'on sait être « vrais ». Nous reconnaissons aujourd'hui qu'elle ne possède pas nécessairement le caractère de certitude que lui attribue Aristote (MacFarlane 2013, Audi 2015). La *techné* est la connaissance pratique que les humains ont d'accomplir certaines activités : dès l'antiquité c'était la

connaissance de l'artisan et de l'architecte, voire du médecin et du paysan. Elle n'a pas la prétention à atteindre les universels de l'*épistémè*, peut rester tacite et se fonde sur la reconnaissance d'une efficacité plus que sur une logique de vérité. La *phronesis* est la connaissance du bon comportement à avoir et de la bonne action à entreprendre dans le bon contexte, elle demande une grande empathie au contexte des autres humains et renvoie également à la dimension éthique de l'agir humain. La science, la praxis technique et l'action politique relèvent clairement de ces trois domaines de la connaissance. Or, ces trois domaines concourent tous aux démarches concrètes de transformation de la ville. Il convient dès lors de s'interroger sur le rapport entre ces trois types de connaissance.

Selon la vision classique de la science positiviste, l'*épistémè* doit venir éclairer et fonder la *techné* et la *phronesis*, qui ne deviennent qu'une application de l'*épistémè*. Plus qu'une fondation, on a historiquement observé une véritable refondation, dans la mesure où des savoirs techniques et procéduraux plus traditionnels ont été remplacés par ceux qui pouvaient être dérivés de l'application de la connaissance scientifique. La capacité à maîtriser l'énergie nucléaire ou à envoyer un homme sur la Lune ont donné une primauté apparemment indiscutable à la connaissance scientifique comme base de la technique et de l'action. Il s'agit d'une vision liée à la modernité car, si Aristote a placé très haut son *épistémè* (connaissances universelles reconnues vraies), il reconnaissait également l'indépendance et la valeur propre de la *techné* et de la *phronesis*, qui n'étaient pas subordonnés à la connaissance savante.

D'un point de vue historique, la remise en discussion de ce paradigme sociétal vient également des ratés de la technique à base scientifique lorsqu'elle est intervenue sur des systèmes complexes. DeLeon (1988) et Dryzek (1993) remarquent ainsi comment la remise en discussion de ce paradigme en aménagement va de pair avec les premiers ratés de l'urbanisme moderne (qui, probablement à tort, se justifiait du fait de l'application de principes scientifiques à ses solutions techniques) mais, encore plus, de l'échec américain dans la guerre du Vietnam, le premier conflit qui se voulait programmé sur la base de principes scientifiques, mais qui n'avait pas réussi à saisir la complexité du système socio-culturel vietnamien et du plus vaste système géopolitique régional. Les grands enjeux du changement climatique aujourd'hui contribuent à cette remise en discussion et suggèrent de remettre au centre des stratégies d'intervention les incertitudes des connaissances scientifiques et la complexité des relations entre anthroposystèmes et écosystèmes.

Reconnaître les limites et les incertitudes de l'*épistémè* en matière d'urbanisme revient alors aujourd'hui à rétablir une nouvelle dignité pour la *techné* et pour la *phronesis*. Les formes vernaculaires, les patterns d'Alexander, sont de la *techné*. Le principe de précaution, la réversibilité et la redondance programmée, le renoncement à l'optimisation, la recherche de

projets partagés, sont de la *phronesis*. Une *épistémè* incertaine et moins arrogante devient une condition indispensable pour une réévaluation de ces types de connaissance. Même, l'*épistémè* peut se nourrir de recherches essayant de comprendre la valeur jusqu'à présent méconnue des techniques et des procédures traditionnelles, sans présupposer que ce qui ne rentre pas dans le cadre couramment admis des connaissances scientifiques est, de ce fait même, dépourvu de toute validité. L'approche de la pensée complexe (Morin 1990) contribue à cette nouvelle disposition de la recherche scientifique.

Je souhaiterais revenir alors sur la centralité de la praxis du projet au sein d'une démarche prospective. Cela nous permet de saisir une dimension ultérieure de la résilience urbaine par rapport à la résilience générale des écosystèmes. Mon point de départ est le schéma des quatre types de complexité organisée identifiés par Marshall (2012) : complexité artificielle, biologique, écologique et des systèmes d'artefacts. À ces quatre types de complexité j'attribue des propriétés de résilience qui se rajoutent progressivement (Figure 1). La principale propriété de résilience possédée par l'artefact est la persistance d'un fonctionnement, dans la mesure où les perturbations externes restent dans les limites des spécifications prises en compte par le projet (résilience d'ingénierie, voir également Holling 1996). Dès qu'on en sort, l'artefact complexe est incapable de continuer à fonctionner correctement. L'organisme biologique possède également un haut niveau d'adaptabilité, par ses multiples mécanismes d'homéostasie. L'écosystème, système ouvert et non téléologique, y rajoute aussi un niveau très élevé de transformabilité : des éléments clés (espèces vivantes, composantes abiotiques, etc.) peuvent apparaître ou disparaître, l'écosystème parviendra à un nouveau fonctionnement et rentrera dans un cycle de renouvellement adaptatif (Holling 1973).

Origine :	Artificielle	Naturelle
Délimitation :		
Objet délimité	Complexité artificielle persistance <i>machine, bâtiment, œuvre d'art</i>	Complexité biologique + adaptabilité <i>organisme</i>
Système non délimité	Complexité de systèmes d'artefacts + auto-transendance <i>système légal, Internet, ville</i>	Complexité écologique <i>écosystème</i> + transformabilité

Figure 1 – Les propriétés de résilience de la complexité organisée.

Or, qu'est-ce que la complexité des systèmes d'artefacts, qui sont toujours des systèmes sociotechniques, rajoute à ces trois propriétés de résilience ?

Comme les écosystèmes, elle a recours aux trois, mais ce qui la différencie des écosystèmes est la conscience que le système peut avoir de soi et qui produit des tentatives de contrôle, toujours partiel, sur les trois propriétés. Dupuy (1992, 2012) parle à cet égard d'auto-transcendance du système : c'est précisément la conscience que le système développe de son propre état, qui permet de produire des projets et des visions partagées permettant de guider sa propre transformation face au changement. Mais, attention, il ne s'agit pas d'une intervention de l'extérieur, comme théorisé par l'urbanisme moderne : les aspirant contrôleurs font partie du système contrôlé, il n'existe pas de séparation nette sujet/objet (Morin 1990), les plans ne sont pas exogènes au système, ils émergent de lui. La conscience a été longtemps spontanée (Caniggia et Maffei 1979) et s'est codifiée dans une culture traditionnelle qui est à la fois *techné* (savoir technique) et *phronesis* (procédure décisionnelle dans un contexte). Avec l'essor de la modernité, elle est devenue une conscience critique (toujours dans Caniggia et Maffei 1979) et a senti le besoin de trouver un fondement rationnel dans sa relation avec la connaissance scientifique. Les connaissances scientifiques du XIX^e siècle ont ainsi fondé la théorie de Cerdà (1867) ou même les positions scientistes de Le Corbusier (1924, 1943). Elles ont amené à répudier les savoirs techniques et procéduraux traditionnels et ont permis de fonder le projet technocratique. La science de la complexité et la reconnaissance de l'incertitude parviennent à un nouvel équilibre *épistémè/techné/phronesis*, en reconnaissant les apports des savoirs traditionnels préscientifiques et de l'intelligence collective qui se déploie dans l'auto-organisation urbaine, sans pour autant renoncer à l'éclairage que la recherche scientifique peut apporter sur la compréhension de la ville. Dans tous les cas, un système non téléologique en se donnant un projet à poursuivre (ou une culture à préserver) opère comme s'il avait un objectif : c'est par ce biais que les systèmes sociotechniques comme les villes coordonnent, dans certaines limites, les actions individuelles et démultiplient leur résilience.

Bibliographie

Abshirini A., Koch D. (2017) Resilience, space syntax and spatial interfaces: The case of river cities. *ITU A/Z*, vol. 14, n° 1, 25-41.

Albert R., Jeong H., Barabasi A. (2000) Error and attack tolerance of complex networks. *Nature*, 406, 378-482.

Alexander Ch. (2002-2005) *The Nature of Order. An Essay on the Art of Building and the Nature of the Universe*. 4 volumes. The Center for Environmental Structure, Berkeley.

Alexander Ch., Ishikawa S., Silverstein M. (1977) *A pattern Language. Towns, Buildings, Construction*. Oxford University Press, New York.

Alexander Ch., Neis H., Anninou A., King I. (1987) *A New Theory of Urban Design*. Oxford University Press, Oxford.

Aristote (trad. R. Bodéüs, 2004) *Éthique à Nicomaque*. Flammarion, Paris.

Audi R. (2015) *Rational Belief. Structure, Grounds, and Intellectual Virtue*. Oxford University Press, Oxford.

Biggs R., Schlüter M., Schoon M. (eds.) (2015) *Principles for Building Resilience - Sustaining Ecosystem Services in Social-Ecological Systems*. Cambridge University Press, Cambridge.

Blecic I., Cecchini A. (2016) *Verso una pianificazione antifragile. Come pensare al futuro senza prevederlo*. Franco Angeli, Milano.

Caniggia G., Maffei G. (1979) *Lettura dell'edilizia di base*. Alinea, Firenze.

Carlson J., Doyle J. (2000) Highly Optimized Tolerance: Robustness and Design in Complex Systems. *Physical Review Letters*, 84(11), 2529-2532.

Carpenter S., Walker B., Anderies J.M., Abel N. (2001) From Metaphor to Measurement: Resilience of What to What. *Ecosystems*, 4(2001), 765-781.

Carpenter S., Westley F., Turner M. (2005) Surrogates for resilience of socio-ecological systems. *Ecosystems*, 8(8) : 941-944.

Cerdà I. (1867) *Teoría General de la Urbanización*. Edition française par A. Lopez de Aberasturi (2005) *Théorie Générale de l'Urbanisation*. Seuil, Paris.

Cumming G. S. (2011) Spatial resilience: integrating landscape ecology, resilience, and sustainability. *Landscape Ecology*, vol. 26, no. 7, 899-909.

Cutini V. (2013) The city when it trembles. Earthquake destructions, post-earthquake reconstruction and grid configuration. In: Kim, Y. O., Park, H. T., Seo, K. W. (eds.), *Proceedings of the Ninth International Space Syntax*. Sejong University, Seoul.

Cutini V., Di Pinto V. (2015) On the slopes of Vesuvius: Configuration as a thread between hazard and

Debonneuil M. (2007) *L'Espoir économique : vers la révolution du quaternaire*. Bourin, Paris

DeLeon P. (1988) The Contextual Burdens of Policy Design. *Policy Studies Journal*, vol. 17, n° 2, 297-309.

Dryzek J. (1993) Policy Analysis and Planning: From Science to Argument. In F. Fischer, J. Forester (eds.) *The Argumentative Turn in Policy Analysis and Planning*. Duke University Press, Durham and London, p. 213-232.

Dupuy J.P. (1992) *Introduction aux sciences sociales. Logique des phénomènes collectifs*. Ellipses, Paris.

Dupuy J.P. (2012) *L'Avenir de l'économie : sortir de l'écomystification*. Flammarion, Paris.

Ernstson, H., van der Leeuw, S. E., Redman, C. L., Meffert, D. J., Davis, G., Alfsen, C., and Elmquist, T. (2010) Urban transitions: on urban resilience and human-dominated ecosystems. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 39(8), 531-545.

Esposito A., Di Pinto V. (2015) Calm after the storm: The configurational approach to manage flood risk in river cities. *Proceedings of the 10th International Space Syntax Symposium*. UCL, London.

Feliciotti A., Romice O., Porta S. (2016) Design for change: five proxies for resilience in the urban form. *Open House International*, 41(4), 23-30.

Feliciotti A., Romice O., Porta S., 2017, Urban regeneration, masterplans and resilience: the case of Gorbals, Glasgow. *Urban Morphology*, 21(1): 61-79.

Hayek F. (1967) *Studies in Philosophy, Politics and Economics*. Routledge, London.

Hayek F. (1978) *New Studies in Philosophy, Politics, Economics and the History of Ideas*. Routledge, London.

Hillier B. (1996) *Space is the machine*. Cambridge University Press, Cambridge.

Holling C.S. (1973) Resilience and Stability of Ecological Systems. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, vol. 4, 1-23.

Holling, C. S., Sanderson S. (1996) Dynamics of (dis) harmony in ecological and social systems. In S. Hanna, C. Folke, K. G. Mäler (eds.) *Rights to nature: ecological, economic, cultural, and political principles of institutions for the environment*. Island Press, Washington, p. 57-86.

Koch D., Miranda Carranza P. (2013) Syntactic Resilience. In *Proceedings of Ninth International Space Syntax Symposium*. Sejong University Press, Seoul.

Le Corbusier (1924) *Urbanisme*. Collection l'Esprit Nouveau, Crès, Paris.

Le Corbusier (1943) *La Charte d'Athènes*. Adaptation pour la publication (édition originale : Le groupe CIAM – France). Plon, Paris.

Lhomme S. (2012) *Les réseaux techniques comme vecteur de propagation des risques en milieu urbain. Une contribution théorique et pratique à l'analyse de la résilience urbaine*. Thèse de doctorat en géographie, Université Paris-Diderot.

MacFarlane A. (2013) Information, Knowledge and Intelligence. *Philosophy Now*, 98, 18-20.

Mandelbrot B. (1982) *The Fractal Geometry of Nature*. Henry Holt and Company, New York.

Marcus L., Colding J. (2014) Toward an integrated theory of spatial morphology and resilient urban systems. *Ecology and Society*, 19(4), 55. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-06939-190455>

Marshall S. (2012) Planning, Design and the Complexity of Cities. In J. Portugali et al. (eds.) *Complexity Theories of Cities Have Come of Age*. Springer, Berlin, p. 191-205.

Mehaffy M., Salinger N. (2013) Towards Resilient Architectures I: Biology Lessons. *Metropolismag.com*, March 2013. <http://www.resilience.org/stories/2013-03-25/toward-resilient-architectures-i-biology-lessons/>

Meslin K., Rousselot L. (2013) Effets sociaux des politiques urbaines de démolition et reconstruction du logement social. De l'ascension résidentielle à la fragilisation socio-économique. *Revue des politiques sociales et familiales*, 114, 81-87.

Morin E. (1990) *Introduction à la pensée complexe*. Seuil, Paris.

Moroni S. (2015) Complexity and the inherent limits of explanation and prediction: Urban codes for self-organizing cities. *Planning Theory*, vol. 14(3), 248-267.

Newmann P., Jennings I. (2009) *Cities as sustainable ecosystems, Principles and Practices*. Island Press, Washington.

Opportunity. *Proceedings of the 10th International Space Syntax Symposium*. UCL, London.

Portugali J. (2000) *Self-Organisation and the City*. Springer, Berlin.

Pumain D. (2012) Urban Systems Dynamics, Urban Growth and Scaling Laws: The Question of Ergodicity. In Portugali, H. Meyer, E. Stolk, E. Tan (eds.) *Complexity Theories of Cities Have Come of Age*. Springer, Berlin, p. 91-104.

Ratti C. (2013) *Smart City, Smart Citizen*. Egea, Milano.

Salinger N. (2005) *Principles of Urban Structure*. Delft University of Technology, Techne Press, Delft.

Schumpeter J. (1942) (2014) *Capitalism, socialism and democracy*. Impact Books, Floyd, VA.

Taleb N. N. (2007) *The Black Swan: The Impact of the Highly Improbable*. Random House, New York.

Taleb N. N. (2012) *Antifragile. Things that gain from disorder*. Random House, New York.

Thom R. (1983) *Paraboles et catastrophes*. Flammarion, Paris.

Toubin M., Lhomme S., Diab Y., Serre D., Laganier R. (2012) La Résilience urbaine : un nouveau concept opérationnel vecteur de durabilité urbaine ? *Développement durable et territoires*, vol. 3, n°1, 1-17.

Voiron-Canicio Ch. (2015) Une ville « résiliente » ? Quid de l'innovation dans la marche vers la durabilité urbaine. In I. Hajek et Ph. Hamman (eds.) *La gouvernance de la ville durable entre déclin et réinventions - Une comparaison Nord/Sud*. Presses Universitaires de Rennes, Rennes, p. 267-277.

Voiron-Canicio Ch., Dutozia J. (2017) Anticiper et simuler les dynamiques de changement pour diagnostiquer et améliorer la résilience d'un système territorial urbain. *Risques Urbains*, 1, 1-17.