

Crise des grands réseaux et des firmes de grands réseaux et vulnérabilité infrastructurelle

Chapitre 1 - Crise des grands réseaux et des firmes de grands réseaux et vulnérabilité infrastructurelle

« Instead of investigating the nature of the conflicting elements which erupt in the catastrophe, the apologists content themselves with denying the catastrophe itself and insisting, in the face of their regular and periodic recurrence, that if production were carried on according to the textbooks, crises would never occur. »
(Karl Marx, *Theory of Surplus Value*, 1908, partie 2, p. 500, cité dans Harvey, 2014)

Longtemps, les réseaux techniques urbains sont restés un « truc d'ingénieurs » [« engineers stuff »] (Coutard, 1999). La transformation que certains réseaux connaissent depuis une vingtaine d'années et qui fait le cœur de notre travail ne se limite cependant pas à des enjeux techniques ou à des questions d'ingénierie mais engage plus largement des questions urbaines, économiques et sociales. Cette crise est multiple, multiforme et conduit à l'émergence de formes relativement inédites de réseaux. Pour mieux en déplier les ressorts et en expliquer les linéaments, nous avons cherché à faire dialoguer plusieurs blocs de littérature, qui interagissent rarement les uns avec les autres. Ce dialogue est relativement exploratoire. Il s'est construit autour d'une idée majeure : l'émergence d'une *vulnérabilité infrastructurelle*, sur laquelle nous reviendrons en détail (IV de ce chapitre). Comme tout dialogue, il est marqué par des frictions ou d'éventuelles disputes entre des visions divergentes du fonctionnement des grands systèmes techniques urbains.

Ce dialogue permet en fait de mettre au jour ce qui fait à la fois l'attrait et la limite intrinsèque des grands réseaux techniques. Ils sont à la fois des objets essentiels voire consubstantiels au métabolisme urbain (Kaika et Swyngedouw, 2000), mais leur logique de fonctionnement s'inscrit dans un récit urbain orienté vers la seule croissance et qui a pu être appelé, après Harvey Molotch, « l'urban growth machine » (Molotch, 1976, repris par Schindler, 2014). Ce récit, qu'on retrouve dans le domaine des infrastructures de façon symétrique à ce qui se fait dans les études urbaines, a des accents quasi téléologiques, car il fait de la croissance à la fois

un but et un moteur du fonctionnement urbain ou infrastructurel (I de ce chapitre). A cette limite intrinsèque des grands réseaux techniques urbains et des firmes de réseaux obnubilées par la croissance s'ajoutent deux éléments de déstabilisation de ces mêmes réseaux, qui concourent, chacun à leur manière, à l'amplification de la vulnérabilité infrastructurelle : une remise en cause externe du paradigme du grand réseau (II de ce chapitre) et un changement interne imprévu, la diminution de la consommation, dont nous analyserons l'extension et les facteurs (III de ce chapitre).

I/ Des réseaux techniques urbains historiquement caractérisés par une logique de croissance.

Il ne s'agit pas ici de refaire une histoire des réseaux techniques urbains ou une histoire de l'analyse des réseaux, qui ont pu déjà être menées ailleurs de façon assez exhaustive (Bocquet, 2006 ; Dupuy et Offner, 2005, Graham et Marvin, 2001), mais de rappeler combien les réseaux techniques ont à la fois partie liée avec le développement urbain et s'inscrivent dans une logique historiquement marquée par la croissance, vue comme un processus quasi naturel voire éternel (Méda, 2013 ; Coutard, 2010a).

A/ Les réseaux techniques urbains : le cœur technique de la fabrique urbaine.

Depuis une trentaine d'années, les travaux sur les réseaux techniques¹⁵ ont permis de montrer leur ancrage urbain. Trois aspects viennent en rendre compte : s'ils sont certes la Cendrillon des études urbaines, selon la figure utilisée par Graham et Marvin (2001) et Susan Leigh Star (1999), les réseaux n'en sont pas moins au cœur de la fabrique urbaine, tout du moins dans la ville industrielle (1) ; ils agissent, à ce titre, comme des outils de solidarisation territoriale (2) et peuvent être perçus comme des accompagnateurs de croissance urbaine (3).

¹⁵ Nous utiliserons ici le terme de réseaux de façon extensive, en y intégrant les firmes d'infrastructures qui les gèrent (Jaglin, 2005).

1/ Une Cendrillon délaissée et pourtant essentielle

Comme le dit élégamment Fanny Lopez, « les urbanistes manient mieux la voie que les tuyaux et les canalisations » (2014, p.42). Derrière cette affirmation, on retrouve une idée classiquement développée par de nombreux travaux portant sur les infrastructures et les réseaux techniques, celle d'une invisibilité des réseaux dans la vie quotidienne et dans de nombreux débats publics (Joerges, 1988 ; Mau, 2003 ; Perry, 1995 ; Summerton, 1994) qui explique en partie la faiblesse de leur étude au sein du champ des études urbaines en dépit d'un « infrastructure turn » assez récent (McFarlane et Rutherford, 2008). Pour Joerges et Mayntz, les réseaux techniques n'ont d'ailleurs commencé à être abordés par les sciences sociales qu'au moment des débats sur la Big Technology et les débuts de l'informatique dans les années 1970 (Joerges, 1988, Mayntz, 2008).

Partiellement délaissés du champ académique, les réseaux techniques n'en sont pour autant pas moins l'un des moteurs vrombissants de la production urbaine. Selon les éléments de la célèbre démonstration d'Abraham de Swaan, les réseaux techniques, comme tout bien collectif, ne correspondent pas à un objet allant de soi, mais sont le résultat d'un choix social, et, à ce titre, un objet sociotechnique (de Swaan, 1988) et « un outil de la fabrique politique » (Jaglin, 2005). En prenant l'exemple de la construction du système d'égouts, de Swaan évoque ainsi le développement d'un « système artéro-veineux » qui irrigue la ville et permet à ses habitants de mieux respirer, loin des puanteurs de la ville pré-industrielle sans égouts. Il reprend par ce biais la métaphore du réformateur anglais Edwin Chadwick au début du 19^{ème} siècle. Ce système artéro-veineux est en fait au principe des développements de la ville moderne et industrielle, qui se caractérise par une dépendance de plus en plus intense aux réseaux techniques (Graham et Marvin, 2001 ; Castells, 1996¹⁶) et qui a posé comme quasi synonymes les termes de réseaux et de modernité.

Ce n'est donc pas un hasard de retrouver chez un théoricien de l'urbain et un défenseur de la modernité urbaine comme Ildefonso Cerda les prémices d'une réflexion sur la ville comme un métabolisme urbain agi par les réseaux techniques : « cet ensemble de tubes ne constitue rien d'autre qu'un système d'appareils qui entretient le fonctionnement de la vie urbaine » (Cerda, 1867, p.115, cité par Lopez, 2014, p.43). Les réseaux techniques sont, à ce titre, au cœur de

¹⁶ Même si certains auteurs critiquent la vision de la technologie chez Castells, qui ne s'intéresse que peu à la dimension sociotechnique des réseaux, réduits souvent à la technologie, sans prendre en compte les aspects institutionnels de l'organisation des services publics (Offner, 2000)

l'approvisionnement en services de la ville depuis l'époque industrielle, qui correspond à la phase d'urbanisation la plus forte dans la plupart des contextes européens. Ils sont même, au moment de leur construction, une sorte d'artefact de la modernité¹⁷, une « dot urbaine »¹⁸ (Kaika et Swyngedouw, 2000). Cette « dot » sera d'ailleurs promue au rang de quasi-dogme par le Mouvement moderne architectural qui voit dans les réseaux techniques un nouveau vecteur du confort moderne (Lopez, 2014). Dans les discours et les imaginaires de leurs créateurs et de leurs défenseurs, ces réseaux demeurent donc indissociables d'une forme de progressisme social (Lopez, 2014). Cela retrouve l'argumentaire de Stephen Graham, d'après qui ces infrastructures seraient l'incarnation d'un des rêves de l'époque des Lumières d'un contrôle social de la nature par la science et la technique, pouvant presque conduire à une fétichisation de ces objets vus par de nombreux responsables publics comme des symboles de l'innovation, de la créativité et du pouvoir économique et culturel d'une ville (Graham, 2010).

2/ Les réseaux comme outil de solidarisation

Si les réseaux techniques urbains sont ainsi appréhendés, quoique par un nombre longtemps réduit de chercheurs et d'urbanistes, comme des agents essentiels du développement urbain, c'est notamment en raison d'une des vertus qui leur est prêtée, la capacité non seulement à irriguer un territoire, mais à le solidariser (Naumann et Bernt, 2009). Si de Swaan a justement rappelé que certains réseaux, comme le gaz et l'électricité, étaient moins collectifs que d'autres (l'eau, le chauffage urbain) par nature car la connexion d'un usager était indifférente aux autres (de Swaan, 1988), il n'en rappelait pas moins en creux l'idée que le réseau technique a longtemps été considéré comme un agent de solidarisation territoriale (Dupuy, 1984 et 2011 ; Offner et Pumain, 1996).

Cette capacité de solidarisation correspond à trois ingrédients complémentaires les uns des autres. Elle s'insère tout d'abord dans ce processus que de Swaan nomme après Elias « l'intensification des chaînes d'interdépendance humaines », qui permet de faire émerger des biens collectifs à l'issue d'un processus social (de Swaan, 1988). De ce fait, elle participe d'une forme de territorialisation (Offner, 1993a ; Jaglin, 2005), que l'on peut comprendre comme une tentative d'unification du territoire par les réseaux, voire une utopie technique permettant de

¹⁷ Fanny Lopez parle même des réseaux comme « matrice technique et symbolique de la modernité » (Lopez, 2014, p.22)

¹⁸ « Urban dowry » dans le texte de Kaika et Swyngedouw

réaliser en partie une utopie sociale (Lopez, 2014). Ce pouvoir de solidarisation est ensuite rendu possible par un acteur, l'acteur public, seul à même de pouvoir endosser les risques associés à la mise en place des réseaux à une échelle relativement large et sur un temps relativement long (de Swaan, 1988). Enfin, cette capacité des réseaux à unir des territoires et à abolir les distances s'explique par la domination symbolique et technique que le réseau a pu porter en étant une forme de fourniture de services performante au niveau économique et spatial qui voit croître sa performance avec sa taille (Coutard et Rutherford, 2009 ; Scherrer, 2006). Les réseaux ne sont donc pas simplement ces « machineries and freestanding structure performing complex standardised operations » (Joerges, 1988, pp.23-24), mais des objets s'intégrant à d'autres processus sociaux : ils ont, et à travers eux les opérateurs qui les gèrent, un rôle qui dépasse parfois leur simple périmètre fonctionnel¹⁹, avec un pouvoir important sur la société (Offner, 2000 ; Coutard, 2002 ; Souriau, 2014). En d'autres termes, et selon l'expression que Bernard Barraqué emprunte aux solidaristes²⁰, le réseau technique urbain participe davantage de la « solidarité qui relève » que de la « charité qui dégrade » (Barraqué, 2013, p.18), témoignant par ce biais de son rôle intégrateur.

3/ Les réseaux techniques urbains comme accompagnateurs de croissance urbaine

En réduisant les distances, ou tout du moins les coûts associés aux relations à distance et en démontrant une capacité à intégrer des territoires, les réseaux techniques ont ainsi largement accompagné des mouvements de croissance urbaine et d'étalement (Coutard et Rutherford, 2009).

Comme le rappellent de nombreux travaux, un réseau technique connaît plusieurs phases et plusieurs formes matérielles, de la naissance dans une logique « d'innovation peu destructrice » à un premier équilibre de rentabilité, avant d'être transformé par l'usage et de connaître un éventuel redéploiement (Offner, 1993b, p.13). Dans cette idée, le développement du réseau peut être modélisé par une fonction mathématique dite fonction logistique²¹, qui correspond à une

¹⁹ Ils incarnent une forme de service public et ont à ce titre un rôle éminemment social et politique auprès des habitants.

²⁰ Courant politique français de la fin du 19^{ème} siècle et du début du 20^{ème} siècle, issu d'une frange du parti radical et tournant autour de la figure de Léon Bourgeois, le solidarisme promeut les logiques mutualistes et l'idée d'une « dette sociale » dont chaque citoyen doit s'acquitter en contribuant au bien-être collectif.

²¹ Fonction de type $f(x) = \frac{1}{(1+e^{-\lambda x})}$ pour tout x réel.

courbe dite en S (Curien, 2000 ; Dupuy, 2011), marquée par des phases de croissance plus ou moins rapides selon les périodes. En cela, les réseaux techniques suivent le modèle économique dit de Katz et Shapiro décrivant la pénétration d'un bien ordinaire, autour de trois phases de la courbe : une phase d'émergence, d'abord lente puis marquée par une forte croissance jusqu'à une masse critique ; une phase intermédiaire, avec une croissance linéaire en fonction du temps ; et une phase de saturation, avec une croissance ralentie (Curien, 2000). Appliqué à un réseau en particulier, le réseau d'eau, on voit par exemple le passage d'une phase où le réseau est caractérisé par des points (sources et puits) à une logique de services de ligne (porteurs d'eau) puis de réseau technique (via la canalisation) (Guérin-Schneider, 2011). A chaque phase correspond également une extension de l'aire urbaine desservie, qui est suivie par une extension symétrique des réseaux. Les réseaux techniques sont donc, d'une certaine façon, les reflets de « l'urban growth machine » qu'évoquent Molotch et Schindler.

B/ Les *Large Technical Systems* (LTS) : un objet sociotechnique caractérisé par des logiques de croissance

Au-delà de leur rôle d'*accompagnateur* de croissance, les réseaux techniques urbains sont aussi un *moteur* de croissance urbaine et un objet qui fonctionne quasi ontologiquement selon des logiques de croissance, poussant parfois jusqu'à la contradiction.

1/ Les LTS : des systèmes qui ne peuvent fonctionner qu'avec la croissance

Cette conception des réseaux est propre aux réflexions d'un des pionniers de la recherche sur les grands réseaux techniques et des *Science and Technology Studies* (STS), Thomas Hughes. Historien de formation, il est le premier spécialiste de l'histoire des technologies à ne pas s'intéresser seulement aux inventeurs, ou aux inventions particulières, mais aux systèmes qu'ils déploient et construisent (Hughes, 1983), en analysant en particulier les réseaux électriques dans des contextes européens et nord-américains. Il distingue trois cycles de développement de ces réseaux, assez similaires à ceux décrits précédemment. Le premier temps est celui de l'invention, du développement et de l'innovation. Le deuxième celui dit du transfert, avec le développement de styles selon les contextes locaux. Le dernier est celui de la croissance, de la concurrence et de la consolidation du grand réseau technique. Derrière ce modèle du grand réseau demeure donc l'idée d'une croissance continue du réseau. Cette croissance est même consubstantielle au LTS (Kornwachs, 1993 ; Offner, 1996), puisque l'efficacité du réseau est

censée croître avec sa taille et que la demande est considérée comme inextinguible (Coutard, 2010a). Le LTS se nourrit donc assez largement d'une forme d'idéalisation de la croissance et d'un système de consommation non borné (Coutard, 2010b).

Cette logique de croissance à tout prix a été portée en particulier par l'absence de contraintes énergétiques qui a prévalu pendant plusieurs décennies (Owens, 1986), limitant de fait les considérations sur les questions d'efficacité du système existant, qu'il s'agisse du réseau d'eau, de chauffage ou de gaz. La logique d'extension inhérente au réseau a ainsi joué également un rôle de moteur dans l'étalement urbain, quand bien même celui-ci n'était pas entièrement compatible avec un approvisionnement collectif (Owens, 1986).

Cette attraction pour la croissance est portée par un imaginaire et des pratiques professionnelles : les planifications urbaine et infrastructurelle sont ainsi marquées par des décennies de programmes et de plans élaborés à l'aune de la seule croissance (Moss, 2008a ; Monstadt, 2009). Elle s'appuie également sur quelques éléments d'analyse économique insuffisamment poussés, reposant sur le principe largement répandu dans les sociétés occidentales qui veut qu'une consommation croissante mène à un bien-être plus élevé (Jackson, 2005). Certaines études ont ainsi pu montrer le lien entre la croissance du revenu par habitant et la croissance de la demande en eau et énergie (Villarin et Camarillo, 2012). Le réseau se nourrit ainsi doublement de la croissance de l'urbanisation et de l'enrichissement progressif des urbains et des sociétés occidentales toujours plus urbaines. On retrouve cette idée énoncée avec force dès le 19^{ème} siècle, où la croissance continue des consommations et du réseau est annoncée non seulement comme un objectif économique mais aussi comme un programme culturel. C'est ce qu'on peut lire notamment dans ces pages étonnantes de l'ouvrage de l'architecte autrichien Adolf Loos, qui, dans *Die Plumber*, rappelle que « seul le peuple qui approchera les Anglais pour la consommation d'eau sera capable de rivaliser avec eux dans l'ordre économique (...) L'augmentation de la consommation d'eau est une de nos tâches culturelles les plus pressantes » (Loos, 1898, p.55). On ne saurait mieux dire l'ambition civilisatrice qu'est censée porter la croissance de la consommation et son vecteur, le réseau technique.

Cette croissance continue est d'autant plus aisée à envisager que les objets qui la portent, les LTS, sont marqués par une très forte matérialité, et donc une faible flexibilité, rendant leur remplacement plus délicat à imaginer. Les *Large Technical Systems*, dont le développement est congruent à celui de la ville industrielle, ont acquis une forme d'hégémonie sur l'approvisionnement des services. Tout du moins constituent-ils le point majeur du régime

sociotechnique de la ville industrielle (van Vliet et al., 2005). Ce régime est particulièrement difficile à transformer, en raison notamment de la forte matérialité des réseaux et de son corollaire, la faible capacité du système à être transformé (*obduracy*). C'est ce qu'on retrouve notamment dans l'idée de *momentum* développée par Thomas Hughes (1983 et Bijker, Hughes et Pinch, 1987). Quand les LTS se développent, certains acteurs font la promotion de leur système pour éviter la concurrence d'autres systèmes et ainsi garder leur position hégémonique. Les systèmes technologiques se renforcent alors en interne et forment un *momentum*, ou inertie dynamique. Du même coup, ce processus de *momentum* peut aussi engendrer des blocages (les *lock-ins*), rendant difficile le passage à un autre régime sociotechnique (van Vliet et al., 2005), et renforçant le primat d'un système exclusif et uniquement orienté vers la croissance.

2/ Une croyance en la croissance bien arrêtée chez les professionnels

Cette obsession de la croissance propre aux LTS trouve un écho saisissant dans les pratiques professionnelles dans le domaine de l'urbanisme. Les méthodes de planification et le droit de la planification urbaine sont ainsi tournés vers une logique d'expansion continue (Winkel, 2001 ; Kluge et Scheele, 2008 ; Monstadt, 2009), suivant une logique métropolitaine, sans qu'elle soit adaptée aux différents niveaux de la hiérarchie urbaine (Richter, 2006).

Deux exemples européens permettent d'en saisir l'ampleur. Le premier porte sur un scénario dont la date est déjà dépassée. En 2003, Roth a ainsi procédé à une comparaison entre des études faites pour le cas allemand en 1990 et la même étude, menée dix ans plus tard, sur l'évolution des consommations individuelles en eau. Dans les études réalisées en 1990 (Mutschmann et Stimmelmayer, 1991), les manuels techniques de référence pour les opérateurs de réseaux d'eau allemands envisageaient une croissance de la consommation individuelle de 20 litres par personne et par jour en dix ans. Dans la pratique, Mutschmann et Stimmelmayer (2002) ont constaté la faible pertinence de leurs prévisions, puisque les consommations des ménages ont baissé de 15 litres par personne et par jour sur le même échantillon allemand entre 1990 et 2000, passant de 144 litres par personne et par jour en 1991 à 129 litres par personne et par jour²². Pour autant, l'idéal de croissance de la demande n'a pas été entièrement abandonné, une croissance de la demande de quelques litres par personne et par jour pour 2010 étant prévue.

²² Pour les ménages et pour les petites entreprises. La consommation totale, en incluant tous les types d'usages et d'usagers, baissait dans le même temps de 200 litres par personne et par jour à 164 litres par personne et par jour.

Le second, plus récent, porte sur des prévisions dont le terme n'est pas encore arrivé (UKWIR, 2010). L'institut de recherche de l'industrie britannique de l'eau, le UK Water Industry Research (UKWIR), qui travaille comme conseiller pour les entreprises d'eau britanniques, a ainsi développé des prévisions d'évolution de la demande pour 2080. Au-delà de prévisions démographiques plus qu'optimistes, qui prévoient, dans le pire des cas, une population de 76M d'habitants et, dans le meilleur, une population de 110M d'habitants²³, on y trouve une croyance fortement ancrée dans la croissance de la demande, tout en évoquant les futures évolutions techniques permettant une utilisation plus efficiente du réseau et des équipements consommateurs d'eau dans les bâtiments.

On retrouve à travers ces deux exemples, qu'on pourrait aisément multiplier, l'illustration de l'idée selon laquelle les opérateurs de réseaux demeurent « prisonniers des objectifs de croissance » (Domenech, March et Sauri, 2013). Cette passion irrésistible pour la croissance de la part des opérateurs de réseaux se retrouve dans d'autres mondes techniques de réseaux : on pense notamment à ce qui ressort des travaux d'Isaac Joseph sur Météor ou de Trinh et Wieviorka sur EDF. Dans chacun des deux cas, les équipes de direction de l'opérateur ont dû trouver un projet d'entreprise tournant autour d'une nouvelle extension et de nouvelles expansions pour pouvoir donner un sens au fonctionnement général de la structure auprès des employés, aussi bien ouvriers qu'ingénieurs ou gestionnaires : ces entreprises manient finalement mieux la croissance que la simple gestion de l'existant (Joseph, 2004 ; Wieviorka et Trinh, 1989).

Cette logique inhérente aux *Large Technical Systems* conduit cependant à une forme de contradiction logique, qui reprend le mystère de l'escargot (Latouche, 2006 et 2010, et encadré 1) ou, dans un autre genre, la contradiction n°15 détaillée par David Harvey dans son dernier ouvrage *Seventeen Contradictions and the End of Capitalism* (Harvey, 2014). Harvey y déconstruit en particulier ce qu'il appelle la « endless compound growth », à savoir la croissance cumulative infinie. C'est, à le suivre et en s'appuyant sur les travaux de Robert Gordon, la logique suivie par un certain nombre de développements du capitalisme au cours des 250 dernières années. Cette croissance cumulée inédite dans l'histoire pourrait cependant ne pas se perpétuer, en raison d'une série de facteurs, au titre desquels Harvey isole des aspects démographiques (le vieillissement), des éléments sociaux (hausse des coûts) ou des enjeux environnementaux (raréfaction de certaines ressources). En gardant le canevas proposé par

²³ Le Royaume-Uni comptait, en 2013, 64 Millions d'habitants.

Harvey et en l'appliquant aux *Large Technical Systems*, on comprend que ceux-ci semblent confrontés à un dilemme menaçant leur pérennité et leur existence, puisqu'ils reposent sur une logique de croissance continue et éternelle, alors que celle-ci est vouée, de façon quasi mécanique, à ne pas durer.

Encadré 1 : Latouche, Illich et le mystère de l'escargot comme parabole de la décroissance

Latouche rappelle, dans l'extrait qui suit et à travers une parabole assez amusante empruntée à Illich, les contradictions logiques qui rendent la recherche d'une croissance inextinguible peu souhaitable.

« L'escargot, nous explique Ivan Illich, construit la délicate architecture de sa coquille en ajoutant l'une après l'autre des spires toujours plus larges, puis il cesse brusquement et commence des enroulements cette fois décroissants. C'est qu'une seule spire encore plus large donnerait à la coquille une dimension seize fois plus grande. Au lieu de contribuer au bien-être de l'animal, elle le surchargerait. Dès lors, toute augmentation de sa productivité servirait seulement à pallier les difficultés créées par cet agrandissement de la coquille au-delà des limites fixées par sa finalité. Passé le point limite d'élargissement des spires, les problèmes de la surcroissance se multiplient en progression géométrique, tandis que la capacité biologique de l'escargot ne peut, au mieux, que suivre une progression arithmétique » Ivan Illich, [1983], 2005, *Le Genre vernaculaire*, dans *Œuvres complètes*, t. 2, Fayard, Paris, p. 292.

Cette contradiction permet de relire l'histoire des grands réseaux techniques urbains sous un autre angle, celui de la crise qui vient, voire de la crise inéluctable. Elle apparaît à la fois comme une clé de lecture de la crise des réseaux et comme une condition de possibilité du développement d'une bifurcation infrastructurelle. Deux éléments viennent renforcer l'émergence possible de cette bifurcation : une remise en cause à la fois par des éléments extérieurs du paradigme du réseau (II) et par un changement (interne) des usages du réseau (III).

II/ la remise en cause du paradigme du grand réseau

Plusieurs processus externes sont venus déstabiliser le fonctionnement traditionnel et l'hégémonie de la forme réseau pour la fourniture des services urbains, précipitant sans doute l'éclosion des contradictions internes de systèmes fondés sur la croissance continue de la demande et l'hégémonie spatiale. Dès 1988, Tarr et Dupuy s'interrogeaient sur la pérennité

possible de ces grands systèmes techniques, mais leur crainte relevait plus de l'âge de ces technologies datant du 19^{ème} siècle (Tarr et Dupuy, 1988), et dont nous serions devenus dépendants, que de la proposition d'alternatives au réseau. Ils anticipaient à leur manière malgré tout sur des remises en cause potentielles des grands réseaux techniques urbains. En filigrane pointait une question qui prit plus tard de l'importance, celle de l'inadaptation des réseaux à l'évolution des consommations (Koziol, 2004 ; Kluge et Scheele 2008 ; Libbe et Moss, 2007 ; Kluge, Libbe et Schramm, 2006).

Deux séries de processus ont depuis lors alimenté cette remise en cause, les processus de fragmentation socio-spatiale par les réseaux (A), et la critique environnementaliste et autonomiste du grand réseau (B).

A/ Un grand réseau vu comme un facteur de fragmentation socio-spatiale

Depuis une vingtaine d'années, un certain nombre de transformations des secteurs de l'eau et de l'énergie ont ainsi participé d'une érosion des capacités intégratrices des grands réseaux et ont laissé la place à un retournement du rôle traditionnel des infrastructures (Verdeil et Scherrer, 2009 ; Bakker, 2010).

Le facteur principal à l'origine de cette transformation est à chercher dans les politiques de déréglementation, de libéralisation et de commercialisation des marchés de l'eau et de l'énergie (Graham et Marvin, 2001 ; Finon, 2008). Sa traduction spatiale serait une tendance de fond qui verrait les réseaux techniques se développer à plusieurs vitesses ou niveaux de services, et qui serait à l'origine, a fortiori, de plus grandes fragmentations sociales et spatiales. Certaines zones deviendraient des « premium network spaces », dont la qualité de service serait nettement supérieure à la normale, dans des espaces de plus en plus privatisés, alors que les populations les plus défavorisées doivent se contenter d'un accès à un service passablement dégradé (Spronk, 2010 ; Bakker, 2010 ; Swyngedouw, 2004 et 2009). Aussi séduisante et documentée que puisse être la démonstration de Graham et Marvin, elle reste souvent cantonnée aux grandes métropoles et sort à de rares exceptions du monde anglo-saxon du Commonwealth²⁴. Comme ils le reconnaissent eux-mêmes, cette logique dominante, qu'ils décrivent brillamment, ne prend pas suffisamment en compte l'Europe de l'Ouest continentale ainsi que l'Europe centrale, où

²⁴ Ce manque d'universalisme et de prise en compte d'autres contextes historiques et institutionnels fut un des points de la critique développée par le numéro de *Geoforum* de novembre 2008 intitulé *Placing Splintering Urbanism*, et coordonné par Olivier Coutard.

ces processus de sécession urbaine et de sortie des réseaux sont souvent moins largement développés (Wissen et Naumann, 2006).

Le phénomène de libéralisation se traduit également par une diversification de l'offre, avec le développement de nouveaux opérateurs (notamment pour la fourniture), d'approches plus individualisées du service à rendre aux usagers, à l'opposé des logiques d'échelle large des grands systèmes techniques qui contrôlent souvent la production, le transport et la distribution du bien (Coutard et Rutherford, 2009). Le monopole territorial promis au grand réseau technique se voit ici contesté par de nombreux concurrents, qui mettent à mal l'un des avantages du réseau : les économies d'échelle permises par l'hégémonie territoriale et la situation de monopole de distribution. Ce phénomène n'est que peu sensible dans les réseaux d'eau, où la compétition s'est davantage opérée *pour* le marché que *dans* le marché (Naumann et Bernt, 2009)²⁵. Il l'est davantage dans le secteur du chauffage urbain, du gaz et de l'électricité. Une des quatre *majors* allemandes de l'électricité, le groupe E.ON, a ainsi perdu 30% de ses clients depuis la libéralisation du marché de l'énergie²⁶.

Cette diversification des acteurs de la production ou de la distribution énergétique crée une forme d'effet ciseaux pour la stabilité des grands systèmes techniques entre un marché qui se réduit et des coûts fixes qui ne diminuent pas (Kluge et Scheele, 2008). L'avantage comparatif du grand réseau s'en érode d'autant. Dans ce contexte, le grand réseau technique fait progressivement l'objet de critiques concernant ses possibles effets régressifs en termes socio-économiques (Dupuy, 2011). C'est en partie ce qui explique le développement d'un second faisceau de déstabilisation du paradigme du réseau, qui coïncide avec une critique plus fondamentale du grand réseau, vu soit comme un instrument de contrôle politique soit comme un objet inadapté à un potentiel urbanisme durable.

B/ La critique environnementale et biopolitique du grand réseau

Cette critique, aux accents parfois philosophiques, du grand réseau vient s'ajouter à la critique socio-économique précédente. Elle la rejoint même sur certains points que nous détaillerons, en jouant sur la libéralisation pour promouvoir le développement de solutions plus autonomes. Elle peut se déplier comme un triptyque : le premier volet est une critique du grand réseau

²⁵ La compétition a eu lieu *pour* l'obtention d'un marché, qui reste ensuite lié à un monopole territorial, et non pas *dans* un marché où un nouvel acteur pourrait venir concurrencer les acteurs déjà en place.

²⁶ (entretien avec le service investissements, SWM, avril 2013)

comme un objet trop linéaire (1), qui recoupe une critique politique du grand réseau comme un agent du contrôle biopolitique (2) et aboutit à des formes concurrentes au grand réseau, qu'il s'agisse de solutions décentralisées ou de projets d'autonomie (3).

1/ Le grand réseau, la vision linéaire et le génie de l'environnement

La critique environnementale du grand réseau repose sur deux principes : le constat d'une inadéquation du grand réseau à certaines situations locales et le reproche d'une linéarité du processus qui serait peu favorable à l'environnement.

Susan Owens a ainsi montré les prémices d'une critique environnementale des réseaux, dénonçant une forte disjonction entre les systèmes énergétiques et l'organisation spatiale de la société (Owens, 1986). Elle regrettait notamment l'écart important entre les politiques favorisant l'étalement urbain et un habitat relativement dispersé et une planification énergétique restant campée sur une logique de réseau centralisé : l'ensemble génère de forts coûts d'infrastructures et témoigne d'une faible intégration des préoccupations énergétiques et de la dimension spatiale de la fourniture d'énergie par les responsables politiques²⁷. Elle illustre par ce biais un désaccord entre développement urbain et approvisionnement en services urbains essentiels, regrettant qu'en matière de sobriété énergétique, beaucoup ait été dit, mais trop peu ait été fait (Owens, 1986).

C'est en partie ce manque d'intégration des considérations énergétiques et environnementales qui a présidé à une critique plus fondamentale du grand réseau et de son processus linéaire. On la retrouve notamment avec l'émergence de la figure du génie de l'environnement (Barraqué, 1993). Comme le rappelle Bernard Barraqué, la notion de génie (Picon, 1992), si elle n'est pas entièrement stabilisée et correspond à une tradition d'ingénierie plus française qu'anglo-saxonne, a connu plusieurs avatars, dont le dernier à avoir émergé est le génie de l'environnement. Aux âges du génie civil et du génie sanitaire²⁸ a donc succédé une nouvelle ère, celle du génie environnemental (Barraqué, 2013 ; Cavé, 2013), qui ne vient pas supprimer les âges précédents, mais bien s'y superposer et les transformer. Le génie de l'environnement correspond à une remise en cause de la gestion traditionnelle des réseaux (Barraqué, 1993), et en particulier de son mode de fonctionnement très linéaire, propre à une époque de croissance

²⁷ Elle milite pour un urbanisme relativement dense et promeut le développement d'un système de chauffage central développé à l'échelle la plus large possible.

²⁸ Le génie civil repose sur la promotion de la circulation, pour les détritiques comme pour l'eau ou l'air. Le génie sanitaire cherche lui à garantir une distribution d'eau de qualité en imposant le branchement à la population.

qu'il qualifie d'insouciance, et qui correspondrait à une simple mobilisation de la ressource, à son utilisation puis à son rejet (Photo 3).

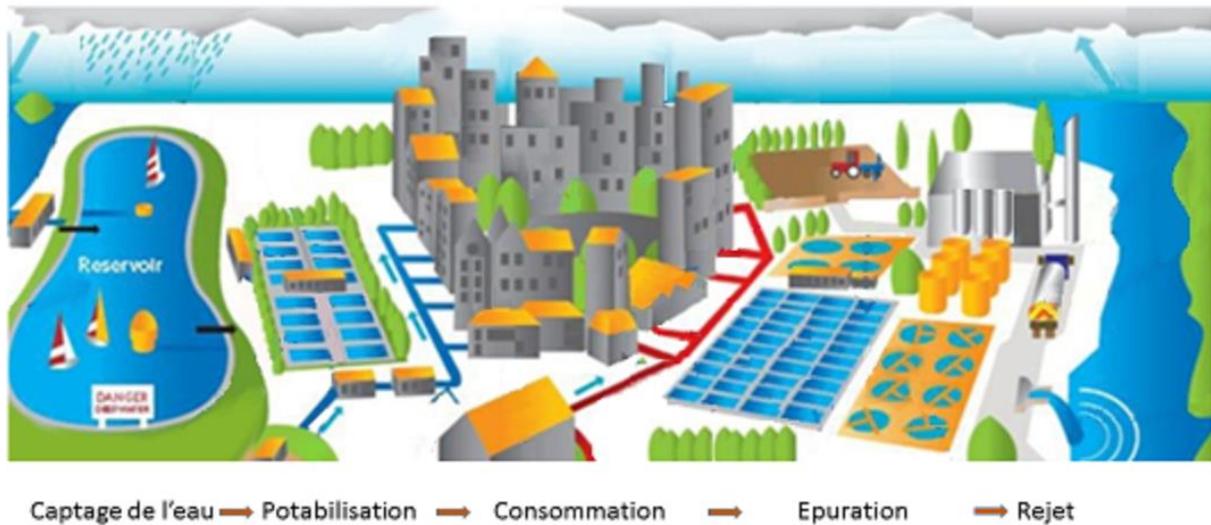


Photo 3 : Le fonctionnement linéaire traditionnel d'un réseau d'eau

Source : montage personnel à partir d'une image d'aquamatrix.net

Le génie de l'environnement chercherait, à l'inverse, à développer davantage une logique circulaire, en lien avec le recyclage, plutôt qu'une logique linéaire²⁹. Cette approche permettrait de mieux valoriser les différents sous-produits de la filière industrielle de l'eau ou de l'énergie (Barles, 2002 et 2007). Elle correspond finalement à la formule utilisée par Le Bris et Coutard (2009) de réseaux « rattrapés par l'environnement », qu'on peut comprendre comme une contestation de la logique réticulaire par une vision « écocyclique », portée en particulier par les promoteurs de la ville durable (Coutard et Rutherford, 2009, p.7 ; Coutard et Rutherford, 2013). Cette critique s'appuie sur des travaux démontrant les limites techniques et économiques des grands réseaux (Hirsh, 1989 ; PUCA, 2009³⁰) et les effets négatifs des *Large Technical Systems* en termes de protection de l'environnement (Barraqué, 2005 ; Hourcade et Colombier, 1988).

Elle débouche sur la formulation de ce que Kathryn Furlong a qualifié de « middle-ground theory » (Furlong, 2012, p.5), à savoir le paradigme d'une « ville post-réseau » (Coutard et Rutherford, 2013). Celle-ci a un versant modéré, qui envisage non pas la fin des grands réseaux,

²⁹ Certains vont même jusqu'à partir de la critique du grand réseau pour en tirer une critique de la ville plus générale, qui serait responsable de toutes les pollutions par les faibles boucles de recyclage qu'elle abriterait (Lévy, 2009 sur l'exemple chinois)

³⁰ Alain Guengant a par exemple souligné que, pour de nombreuses infrastructures, la ville dense se révélait plus coûteuse à équiper et à entretenir, remettant en cause les économies d'échelle supposées du grand réseau.

mais la progressive émergence de systèmes composites, et la possible démultiplication de réseaux (Coutard et Rutherford, 2013). Elle a également un versant plus radical, qui s'approche de la démarche des chercheurs envisageant la fin du paradigme du « tout équipement » (Carré et Deroubaix, 2009 ; Narcy, 2000 ; Bouleau, 2011) et s'incarne notamment à travers les travaux de Sylvain Petitet qui imagine une ville sans réseaux (Petitet, 2011), ou, pour être plus proche de sa description que du titre de l'article, une ville où les grands réseaux seraient remplacés intégralement par des solutions décentralisées ou autonomes (comme dans l'exemple du projet ABC, encadré 2). Dans cette vision, la mise en place d'un service sans réseaux apporte « une redéfinition de l'échelle d'application du principe communautaire de l'usage » et impose ainsi la construction de nouveaux mécanismes de solidarité (Bouleau, Richard-Ferroudji et Werey, 2011, p.64). En creux, le grand réseau est ici posé comme antagonique avec une logique environnementale et solidaire, ouvrant la voie à une critique du grand réseau comme outil de domination politique.

Encadré 2 : la ville sans grands réseaux, l'exemple du projet ABC

Les équipes de Bouygues y réfléchissent depuis quelques temps, et le projet devrait voir le jour d'ici peu. Nous avons pu le voir présenté à l'occasion d'une table ronde organisée par Syntec en novembre 2013. Le projet ABC contient dans son nom son programme d'action : Autonomous Building for Citizens. Il s'agit d'un îlot qui donnerait corps à l'idée de quartier ou de maison autonomes. Au sein de l'îlot, il n'y aurait plus besoin de connexion au réseau électrique ni au réseau de chauffage, l'ensemble étant alimenté par des panneaux solaires et fonctionnant avec des batteries devant stocker l'énergie. L'îlot doit également être autonome en eau, avec récupération de l'eau de pluie, micro-station de filtration et recyclage de certaines eaux usées pour des usages non alimentaires. Le projet incarne cette utopie de la ville sans réseaux dans sa vision hypertechnique voire techniciste (Lopez, 2014 ; Domenech, March et Sauri, 2013). La question des coûts y est clairement secondaire. Les problèmes de représentation et d'imaginaire ne sont pas non plus pris en compte, alors qu'ils s'adressent à l'un des tabous de la vie domestique (Ziedorn et al., 2008), à savoir le rapport à l'eau usée et l'idée que les usagers doivent réutiliser une eau qu'ils ont pourtant déjà utilisée et rejetée, promettant au projet un avenir moins consensuel que ce que ses concepteurs espèrent.

Le projet (photo 4), s'il doit être expérimenté à Grenoble dans le cadre d'une écocité, ne peut cependant s'implanter que sur des constructions neuves et pas sur de l'existant, confirmant que les infrastructures existantes influencent fortement les configurations possibles des alternatives, du type bâtiment autonome (Jensen, 2001). La déconnexion ou la construction de nouveaux régimes de « flow management » demeurent des questions complexes (van Vliet et al., 2005).

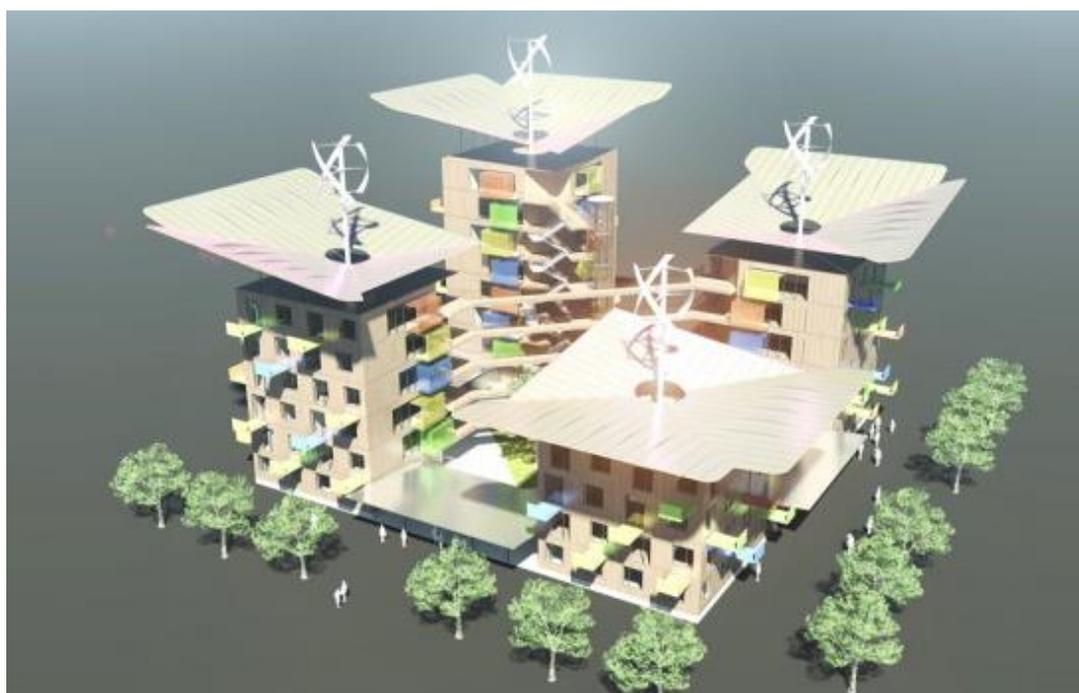


Photo 4 : Projet ABC (Autonomous Building for Citizens)

Source : Bouygues

2/ Le grand réseau comme symptôme du contrôle biopolitique

Derrière la critique d'un grand réseau vu comme trop linéaire, on trouve ainsi une remise en question plus politique de la logique réticulaire, au nom de l'idée qui associerait grandes infrastructures techniques et superstructures de pouvoir.

C'est notamment la thèse que développent Deleuze et Guattari dans *Mille Plateaux* lorsqu'ils considèrent que le réseau est une partie visible de la domination. Les réseaux correspondent à ce qu'ils nomment l'espace « strié », à savoir un espace codifié, strié par le pouvoir, à la différence de l'espace « lisse », où la liberté de mouvement est complète (Deleuze et Guattari, 1980). A les suivre, le grand réseau technique centralisé est donc un agent de la mise aux normes

de la société, qui a, indirectement, une influence sur le contrôle des corps via l'approvisionnement en eau ou en énergie, reprenant par ce biais l'idée foucauldienne de biopolitique (Foucault, 2004). Au grand réseau qui aliène et qui domine, ils préfèrent le réseau décentralisé³¹, posé comme plus démocratique : le rhizome quasi-autonome et proliférant plutôt que le tronc central.

Ce discours fait en partie écho aux arguments développés par un certain nombre d'environnementalistes (Schumacher, 1973 ; Lovins, 1977), qui considèrent que le développement équilibré passe par l'exploitation de sources d'énergie renouvelable à une échelle réduite et décentralisée plutôt que dans de grandes technologies centralisées. Cette approche induit cependant un changement radical de trajectoire urbaine, puisqu'il devient incompatible avec des agglomérations urbaines aussi concentrées que celles que nous connaissons actuellement (Owens, 1986). L'approche, si elle a été en particulier relayée par de nombreux chercheurs allemands suivant en particulier l'apparition de coopératives locales d'énergie (George 2012; Jakubowski et Koch 2012 ; Moss et al., 2013 ; Becker et al., 2014 ; Pohlmann, 2014), n'est pas sans susciter certaines controverses au sein de la communauté scientifique. Certains auteurs mettent ainsi en débat logiques environnementales et logiques sociales (Schnaiberg, 1975). Susan Owens fait par exemple la promotion du système de chauffage central au nom de trois avantages décisifs selon elle, dont aucun n'a trait à l'environnement directement : la création d'un réseau crée de l'emploi direct ou indirect, elle améliore le parc immobilier en lui apportant une chaleur adéquate, et elle apporte de la confiance en les pouvoirs publics (Owens, 1986). Certains vont même plus loin et considèrent que renvoyer la responsabilité de la gestion de réseaux d'énergie ou d'eau aux usagers est constitutif d'une forme de néolibéralisation de l'environnement (Bakker, 2010). Cela pourrait être vu comme un affaiblissement de l'Etat et de sa capacité à assurer les services de base comme l'approvisionnement en eau.

3/ Systèmes décentralisés et solutions autonomes : les alternatives au grand réseau

Cette critique environnementale du grand réseau, même si elle ne remporte pas une adhésion unanime, a ainsi débouché sur un certain nombre de réalisations concrètes, et notamment la mise en place de systèmes alternatifs qui ont contribué à la fragilisation du paradigme du grand

³¹ Sans forcément spécifier le type de réseau dont ils parlent.

réseau et illustrent finalement le caractère réversible de ces grands systèmes techniques que décrivait Abraham de Swaan (1988). Deux formes concurrentes au grand réseau peuvent être isolées : les réseaux décentralisés et les solutions autonomes.

Les réseaux décentralisés sont promus aussi bien par les tenants de la libéralisation, qui défendent une « dé-intégration » des réseaux pour mettre à bas des situations de monopoles (décrit de façon critique par Coutard et Rutherford, 2009, p.8), que par les soutiens de la critique environnementale et du schéma écocyclique (Gilroy-Scott, 2007). Certains auteurs se placent d'ailleurs à la jonction des deux (van Vliet et al., 2005). Pour van Vliet et ses coauteurs, on trouve au premier rang des « renouvellements environnementaux récents » dans les relations entre consommateurs et opérateurs la différenciation des services permise par la concurrence, et l'idée que la libéralisation et la dérégulation ont permis l'émergence d'un choix pour les consommateurs³². A cela s'ajoute un constat et un souhait, celui d'une autonomisation croissante par rapport aux arrangements techniques et institutionnels centralisés, qui permet le développement de micro-réseaux (« micro-grids ») et de technologies dites décentralisées.

Ils en donnent une illustration plus que contrastée, issue d'enquêtes menées aux Pays-Bas. Depuis les années 1970 s'est ainsi développé un système plus décentralisé pour le réseau d'eau, avec la possibilité de différencier certains usages et de se connecter, de façon supplémentaire, à un réseau d'eau (plus) local de moins bonne qualité pour certains usages comme les toilettes. Le projet fut d'abord rejeté par les autorités nationales pour deux raisons : un coût excessif avec la construction d'un nouveau réseau et un risque sanitaire accru avec la possibilité de connexions malheureuses. Il s'est finalement développé depuis 1995 dans certaines niches de marché, autour d'un réseau secondaire. Cependant, même si l'acceptation sociale du projet est décrite comme assez forte, l'évaluation économique a montré que les bénéfices environnementaux n'étaient pas aussi grands qu'espérés, les coûts se sont révélés très élevés et le projet a dû être arrêté après que des usagers ont inversé leurs connexions, buvant de l'eau de qualité moyenne et évacuant de l'eau de bonne qualité (van Vliet et al., 2005). D'autres projets sont développés dans l'ouvrage, comme le Het Groene Dak (toits verts), démarré en 1993 à Utrecht. L'idée était de développer un système de compost pour les toilettes pour 66 maisons, mais les impacts environnementaux se sont révélés douteux aux dires mêmes des habitants concernés, et le système nécessitait un contrôle permanent, chronophage et peu confortable. Comme l'un des participants du projet l'expliquait : dépendre d'un système centralisé, dans ce

³² C'est l'objet du chapitre 4 de leur ouvrage.

cas précis, leur semblait plus propice, car permettant de mutualiser l'entretien et ayant un coût énergétique moins élevé. L'exemple illustre assez bien ce que van Vliet et al. appellent les difficultés à gérer ce qui est « messy and smelly » sans institutions ou infrastructures (van Vliet et al., 2005). Un réseau double et dont une partie nécessite une maintenance effectuée directement par les usagers reste compliqué à gérer et se révèle souvent coûteux, donc potentiellement discriminant socialement (Cornut, 2003³³).

En parallèle de ces systèmes décentralisés d'approvisionnement en eau ou en énergie se développent également des solutions autonomes. Si les projets de ce type sont relativement anciens et remontent au 19^{ème} siècle (Lopez, 2014), on a pu voir se développer certaines initiatives récentes, notamment pour les systèmes d'eau et d'assainissement, qui, à leur manière, déstabilisent le fonctionnement du grand réseau technique (Montginoul, 2006). C'est notamment ce qu'identifie Jonathan Rutherford dans les banlieues éloignées de Stockholm, où les solutions hors réseaux se multiplient, soit via des copropriétés autarciques autour d'un puits et d'une station d'épuration locale, soit via des solutions plus directement individuelles (Rutherford, 2013). Dans d'autres contextes européens, Cédric Prévédello et Bernard Barraqué ont également montré le développement préoccupant en Belgique de débranchements, soit de particuliers soit d'entreprises, qui réactivent de vieux puits (Barraqué, 2013 ; Prévédello, 2013), ravivant par ce biais la tentation de « l'eau-tarçie » (Laimé, 2008). Ces solutions individuelles conduisent à des réarrangements institutionnels, elles viennent rompre l'organisation traditionnelle de la fourniture de services en plaçant l'utilisateur dans une position parfois nouvelle de producteur de son eau ou de son énergie. Elles ne sont pas non plus neutres techniquement et économiquement : en sortant du grand réseau technique, elles contribuent à diminuer le volume distribué par les opérateurs. Elles viennent ainsi concourir à une moindre utilisation du réseau, et donc à la déstabilisation du modèle économique et technique de fonctionnement des grands réseaux. Leur développement participe de la crise multiforme des grands réseaux et vient renforcer un mouvement de changement interne des usages du grand réseau, la diminution des consommations.

³³ Cornut évoque dans le détail les prix qu'on peut trouver pour ce type de solutions dans une brochure datant de 1994 : le coût total pour une citerne est d'environ 2300 €, incluant la citerne, le groupe hydrophore avec les filtres pour distribuer l'eau sous pression dans l'habitation, le terrassement et les tuyauteries.

III/ Un principe général non prévu : la diminution des consommations

Les facteurs de remise en cause externe n'épuisent pas la compréhension de la crise des grands réseaux techniques urbains. Un processus de transformation interne est également à l'œuvre et constitue le second versant de cette crise qui ne dit pas complètement son nom. Ce processus, c'est celui d'un changement dans les usages des flux acheminés par les grands réseaux qui, depuis quelques années, tendent à baisser, à l'inverse de ce qui avait été prévu lors des phases de construction et de développement de ces réseaux. On est ici davantage dans le *shrinking use of the network* que dans le *shrinking network* à proprement parler.

Cette baisse n'est pas anecdotique ni ponctuelle. Elle touche les différents réseaux techniques avec plus ou moins d'ampleur, mais de façon assez étendue. Pour mieux cerner le processus et ses implications, nous l'analyserons en deux images : un instantané figé et une photo en mouvement. L'instantané permet de faire un tableau plus descriptif de l'extension sectorielle et spatiale du phénomène (A) ; la photo en mouvement se veut plus explicative et suit un secteur en particulier, le secteur de l'eau, pour identifier les facteurs à l'origine de cette baisse sur une échelle de temps plus longue (B).

A/ Extension du domaine de la baisse : ampleur sectorielle et extension spatiale

Pendant longtemps, on a assis la planification des investissements dans le secteur de l'eau sur le principe suivant : la demande en eau est proportionnelle à la demande en énergie électrique. Depuis une vingtaine d'années, ce constat n'est plus conforme à la réalité (Kluge et al., 2003), le secteur de l'eau étant le premier touché par le phénomène de diminution de consommation, qui affecte peu à peu d'autres secteurs.

1/ Ampleur sectorielle de la diminution

Comme le confiait un économiste d'EDF, « la problématique se pose pour l'instant de façon moins aiguë pour nous. (...) Mais si je dis que ce type de changement peut être potentiellement plus traumatisant pour nous que pour les sociétés de gestion d'eau, c'est parce que ce qui les sauve dans l'eau, c'est qu'il n'y a pas de substitutions possibles en termes d'usages et d'acteurs, ou alors de façon très ponctuelle et marginale avec quelqu'un qui se construit son puits. Ce

n'est pas la même chose pour nous énergéticiens » (entretien avec C. Defeuilley, R&D chez EDF, janvier 2015).

Les diminutions de consommation commencent ainsi à affecter les opérateurs d'électricité depuis 2008. Pour EDF, c'est une première depuis la création de l'entreprise en 1946, et cela a poussé l'entreprise à s'intéresser à un processus qui n'était pas prévu. La période couvrant les années 1990 et 2000 avait certes marqué un ralentissement de la croissance dans tous les pays européens, mais jamais de décroissance. Alors que la plupart des analystes pensaient que cette légère baisse n'était qu'un petit accident de l'histoire, la tendance ne s'est pas inversée, notamment dans les pays où la croissance économique était repartie, comme au Royaume-Uni ou en Allemagne. Les chiffres de baisse disponibles ne font état que de un à deux pourcents de diminution de consommation³⁴, mais le phénomène est suffisamment inédit pour être souligné, d'autant qu'il touche tous les types d'utilisateurs, aussi bien les particuliers que les entreprises.

Le phénomène est nettement plus sensible dans deux autres secteurs, l'eau et le chauffage urbain, qui ont la double caractéristique d'un approvisionnement souvent local et d'une très forte matérialité du système, à la différence des réseaux d'électricité ou de gaz, rendant leur substitution plus difficile. Même si leurs travaux ne sont pas centrés sur la question des diminutions de consommation et des nouveaux modèles économiques des opérateurs, les recherches de Dick Magnusson sur le cas de Stockholm et de Pauline Gabillet sur des terrains français à Metz et Grenoble évoquent tous les deux un marché soit saturé soit en déclin (Magnusson, 2012 et 2014 ; Gabillet, 2014). Si le volume total produit peut parfois continuer à stagner ou à croître très légèrement, c'est essentiellement en raison du raccordement de nouveaux usagers, de nouvelles niches de marché destinées à compenser les pertes de consommation constatées à périmètre constant. Autrement dit, la consommation de chauffage par habitant diminue sensiblement, notamment sous l'effet des améliorations de l'isolation des bâtiments.

Le phénomène de diminution de la consommation est plus ancien, ou, pour être précis, fait l'objet d'une attention plus ancienne de la part du monde académique dans le secteur de l'eau et de l'assainissement. Il ne fait cependant l'objet que de peu de travaux scientifiques, concentrés essentiellement en France et en Allemagne, autour des travaux de Bernard Barraqué

³⁴ Données RTE et Christophe Defeuilley

depuis les années 1990 pour le cas français³⁵ et du projet netWORKS³⁶ pour le cas allemand. Ce relatif désintérêt académique s'explique en grande partie par le fait que ces évolutions s'étalent sur des pas de temps longs, faisant de la diminution de la consommation d'eau un processus lent dont les conséquences sont encore difficiles à prévoir et les causes parfois mal évaluées. Toutefois, c'est dans le domaine de l'eau qu'on voit les réflexions les plus abouties sur les enjeux de changement de modèle économique liés aux effets de la diminution de la consommation, notamment dans des contextes européens.

2/ Extension spatiale du phénomène

Le phénomène de diminution des consommations connaît une très large extension spatiale, mais n'est pourtant que rarement conceptualisé dans les travaux de recherche comme autre chose qu'un élément de contexte. Ce n'est que dans des travaux européens et dans des travaux japonais issus de collaboration avec des chercheurs allemands (Uemura et Uto, 2010 ; Uemura, 2014 ; Matsuno et Yoshida, 2008 ; Ujihara et al., 2007) qu'on trouve une prise en compte de cette problématique pourtant cruciale aux yeux des opérateurs et éminemment importante pour les usagers et l'organisation, notamment spatiale, de l'approvisionnement en services urbains essentiels³⁷.

A l'échelle européenne, le processus est essentiellement documenté pour le domaine de l'eau (Credoc, 2006 et tableau 1) et on ne trouve que ponctuellement des informations sur l'évolution des consommations de chauffage urbain. Il touche aussi bien les villes du Nord de l'Europe que des villes espagnoles ou polonaises. La tendance que l'on peut distinguer pour la période 1991-2001 s'est prolongée voire aggravée sur la période plus récente, à des différences ponctuelles près. Cependant, on remarque une disparité persistante entre l'Est et l'Ouest de l'Europe (Moss, 2008a) : les baisses sont beaucoup plus marquées dans la partie orientale de l'Europe depuis 1991, et le phénomène s'est en particulier amplifié à l'Est de l'Allemagne (Moss, 2008a ;

³⁵ Travaux qui furent suivis par d'autres, comme ceux d'Agathe Euzen (2004), de G radline Pflieger (2009) ou de Julien Souriau (2014) ainsi que du projet eau3E, porté entre autres par Bernard Barraqué

³⁶ Le projet a rassemblé sur plusieurs années des chercheurs de l'IRS d'Erkner, de l'ISOE   Francfort/Main et du Deutsches Institut für Urbanistik, travaillant sur les différents réseaux techniques urbains et leurs mutations, et en particulier sur l'eau, dans un contexte marqué par les phénomènes de libéralisation et de diminution des consommations.

³⁷ Dans la littérature nord-américaine, nous n'avons trouvé que de très rares articles évoquant ces questions de transformation infrastructurelle, en se focalisant uniquement sur les *shrinking cities*, se concentrant sur des questions de planification plutôt que sur les enjeux techniques liés aux volumes en baisse, et s'appuyant quasi exclusivement sur une littérature allemande publiée en langue anglaise (Schatz, 2010 ; Hoornbeek et Schwarz, 2009).

Naumann et Bernt, 2009 ; Kluge et Libbe, 2006), mais également dans la plupart des zones concernées par la transition post-socialiste (cf. lignes ombrées ci-dessous).

Consommation d'eau par ménage et par an (m3)			
Ville	1991	2001	Pourcentage de diminution
Amsterdam	93	91	-2,2%
Berlin	77	65	-15,6%
Budapest	151	90	-40,4%
Copenhague	101	65	-35,6%
Gdansk	99	53	-46,5%
Göteborg	149	143	-4,0%
Luxembourg	100	97	-3,0%
Madrid	193	185	-4,1%
Nantes	75	65	-13,3%
Paris	120	100	-16,7%
Séville	80	65	-18,8%
Varsovie	120	65	-45,8%

Tableau 1 : La baisse de la consommation d'eau dans les grandes villes européennes

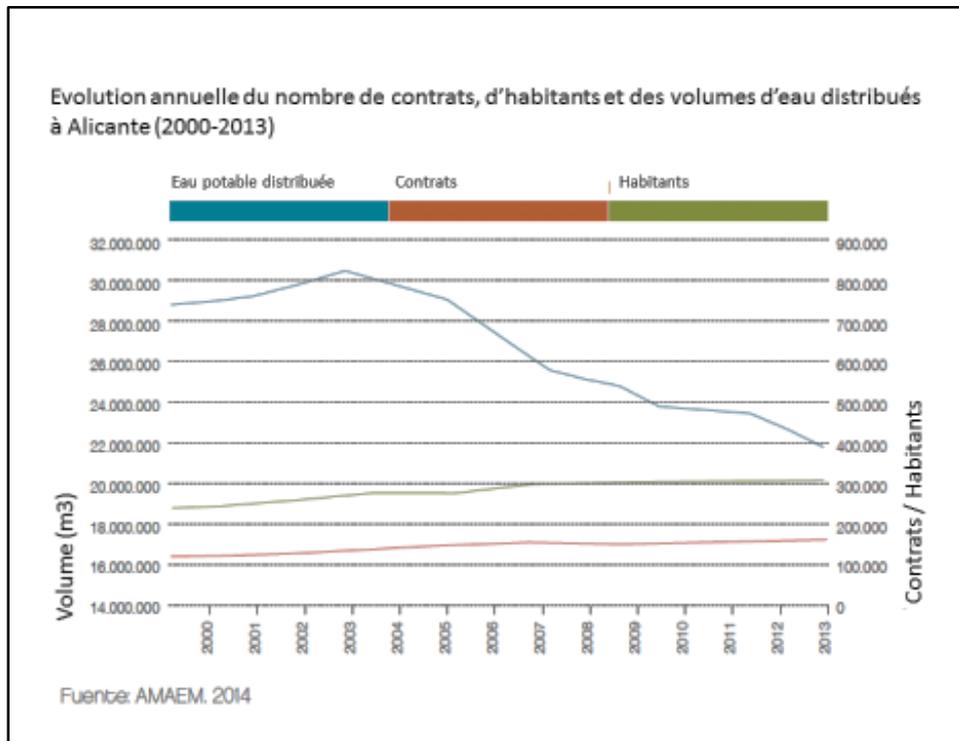
Source : Credoc 2006 et données Eurostat³⁸

La diminution a ainsi touché de façon première des villes de tradition industrielle, qui ont parfois connu un fort déclin urbain comme Leipzig, où la consommation est passée de 700 000 m³ par jour à 160 000 m³ entre 1990 et 2006 (Winkler, 2007), retrouvant la consommation de 1945 avec le réseau de 1990 (Naumann et Bernt, 2009). Mais son emprise dépasse largement le cadre des simples *shrinking cities* : elle concerne également des zones de croissance urbaine et affecte la plupart des grandes villes européennes (Poquet, 2003 ; Juuti et Katko, 2005 ; Wissen et Naumann, 2006 ; Barraqué et al., 2011, Salvetti, 2013). A Paris par exemple, les volumes d'eau facturés ont baissé de plus de 30% entre 1990 et 2012 (Souriau, 2014), soit une baisse de 1,4% par an en moyenne alors que la population s'est accrue d'un peu plus de 5% au cours de la même période. Dans certaines régions urbaines, la prise de conscience est toutefois encore balbutiante³⁹. Ce n'est ainsi que très récemment que la diminution des consommations d'eau est devenu un objet d'attention scientifique en Espagne (Rico Amoros et

³⁸ Certains chiffres prêtent toutefois à caution dans ces données Eurostat, notamment pour Berlin, où les diminutions de consommation semblent anormalement basses au vu de ces chiffres et des travaux existants (Moss, 2008b ; Hüesker et al., 2011). La baisse de consommation d'eau à Berlin dans ces travaux est estimée à 45% entre 1989 et 2007, à 42% pour le Brandebourg, avec de fortes variations locales. Il faut donc les prendre comme des indicateurs de tendance plus que comme des chiffres précis.

³⁹ Nous y reviendrons plus en détail pour la prise de conscience au sein de l'opérateur dans le chapitre 4 à travers l'analyse des deux cas d'étude.

al., 2013 ; Aquae, 2014, pour les deux premières études sur le sujet), alors que la diminution est engagée depuis longtemps (comme l'illustre l'exemple d'Alicante, graphique 1).



Graphique 1 : Baisse de la consommation d'eau dans un contexte de croissance urbaine : l'exemple d'Alicante

Source : Aquae, 2014, AMAEM 2014, traduit par D. Florentin

B/ A la recherche de la goutte d'eau perdue : les facteurs de cette diminution

Pour compléter ce tableau de l'extension sectorielle et spatiale du processus, nous avons mis en évidence les facteurs multiples et cumulatifs à l'origine de cette diminution non prévue. C'est une des questions qui a nourri de nombreuses discussions avec des chercheurs allemands et anglais de l'IRS à Erkner, lors de nos rencontres⁴⁰. Les uns et les autres, nous étions à la recherche d'une sorte d'explication absolue : la quête d'une quantification des différents facteurs de cette diminution, qui aurait permis d'attribuer un pourcentage précis de la baisse des consommations à chacun des facteurs identifiés. L'analyse des données disponibles dans les deux entreprises dans lesquelles nous avons travaillé nous a ramenés à des ambitions plus limitées car les consommations enregistrées par les opérateurs ne permettaient pas d'isoler de

⁴⁰ Nous avons pu être associés aux équipes de l'IRS durant notre séjour à Magdeburg, grâce notamment à Tim Moss et Matthias Naumann. Nous avons ainsi participé mensuellement aux événements de l'institut et avons pu échanger très régulièrement sur nos sujets de recherche avec les collègues de l'IRS.

façon satisfaisante tel ou tel segment de consommation : le niveau d'agrégation des données était trop important pour mener ce type d'analyse. Nous devons nous contenter d'une présentation des différents facteurs (nous en avons isolé six principaux), sans pouvoir leur attribuer un poids précis dans la diminution, nous limitant à des indications de tendance, construites à partir des données disponibles, de certains ouvrages de littérature grise et d'entretiens avec des professionnels du secteur.

Notre analyse se limite ici à l'explication pour les réseaux d'eau. Deux raisons président à ce choix : il permet de limiter les redondances que comporterait un pareil travail sur les différents secteurs, et le domaine de l'eau est celui où la littérature est la plus abondante et où les informations sont les plus précises. Les différents facteurs isolés ici pour l'eau peuvent donc s'appliquer, à des nuances près, aux autres réseaux techniques urbains, même si les références mobilisées traitent essentiellement des réseaux d'eau.

1/ Les transformations macroéconomiques : entre crises économiques et sobriété comme objectif de politique publique

L'un des facteurs principaux de cette diminution de la consommation a trait aux transformations macroéconomiques qui ont affecté les différents contextes européens, et notamment le passage d'une société industrielle à une société de services (Kluge et al., 2003). Les processus de désindustrialisation massive qui ont touché les pays européens sous des formes variées depuis les années 1970 et 1980 ont largement contribué à faire disparaître certains des plus gros consommateurs d'eau qu'étaient les industries lourdes. La progressive érosion de certains secteurs très gourmands en eau comme la sidérurgie (carte 1) a mécaniquement fait baisser la consommation en eau. Dans les contextes de transition post-socialiste, en particulier dans la partie Est de l'Allemagne, en Pologne ou en Roumanie, les experts rencontrés estiment que ce mouvement de désindustrialisation intense et rapide expliquerait autour de la moitié de la diminution de consommation constatée depuis 1990.



Carte 1 : Mutations industrielles : la désindustrialisation de la Ruhr. Disparition des gros consommateurs d'eau de la filière sidérurgique.

Source : Atlas autrement, Michel Deshaies, 2011

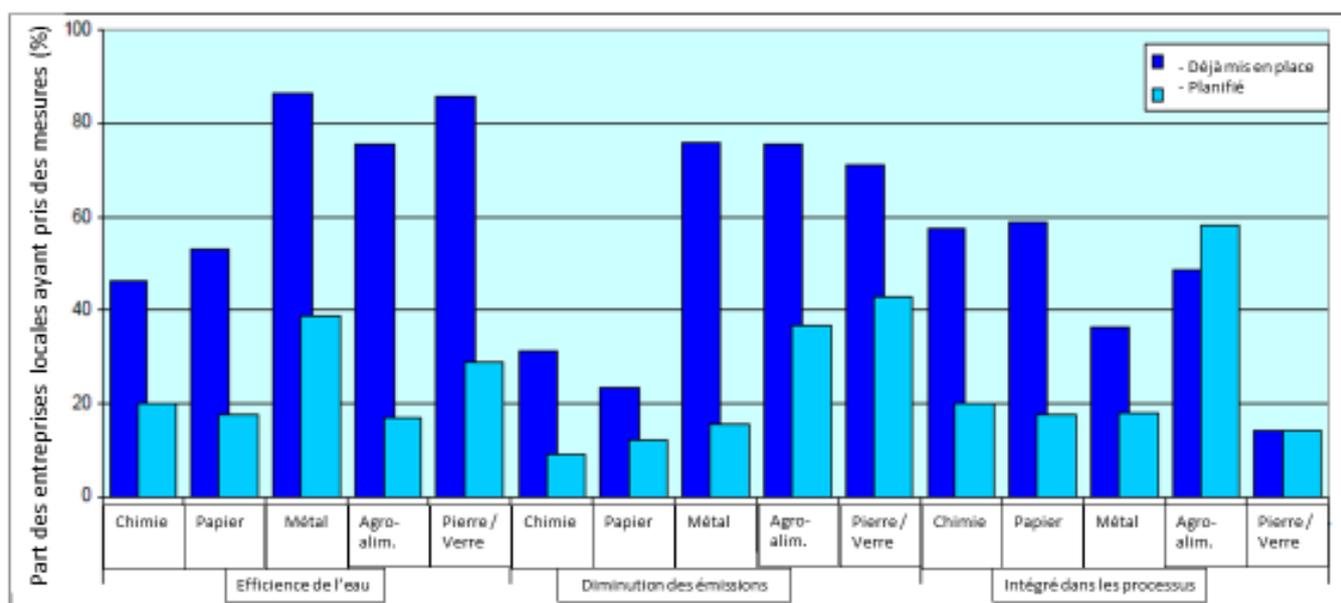
Cette diminution causée par les transformations macroéconomiques peut être renforcée par des décisions politiques. La sobriété, en particulier énergétique, est devenue un slogan voire un objectif de politique publique. Il y a donc une incitation politique à la transformation des consommations (Le Strat, 2013⁴¹).

⁴¹ Eau de Paris a ainsi élaboré une charte avec les bailleurs sociaux pour installer des kits d'économiseurs d'eau, pour donner de la substance à cette quête de sobriété.

2/ Les transformations des industriels

Cette incitation à la sobriété est en fait un reflet d'une pratique déjà bien ancrée chez les industriels, qui cherchent à optimiser leurs processus industriels, en limitant notamment les coûts extérieurs comme la consommation d'eau ou d'énergie (Aqua, 2014).

Hillenbrand, Sartorius et Waltz ont été parmi les rares chercheurs à mener une étude extensive sur le monde industriel et l'intégration de mesures de baisse de consommation choisies (Hillenbrand et al., 2008). Si leur focale d'étude est peut-être trop large (la région de l'Elbe) et ne permet pas de faire émerger des variations locales, leur travail témoigne de la stratégie développée par la plupart des secteurs pour faire diminuer leur consommation en eau (graphique 2).



Graphique 2 : La baisse des consommations en eau : une stratégie industrielle

Source : Hillenbrand et al., 2008, traduit par D. Florentin

Leur étude montre une baisse de 28% de l'eau consommée par les industries entre 1991 et 2004 et une diminution de 47% du volume d'eaux usées produit⁴². Cela a été permis par des mesures relevant de l'écologie industrielle (Buclet, 2011), comme la mise en place d'un cycle de l'eau fermé⁴³, le renouvellement des équipements, l'amélioration des techniques de nettoyage ou le

⁴² L'étude menée par Hillenbrand et al. ne précise guère la méthodologie utilisée pour obtenir ces données. Elles sont issues de données fédérales (Statistisches Bundesamt – Fachserie 19, Reihe 2.2), qui mesurent l'eau consommée par les industries par bassin versant tous les trois ans sans que ces mesures se fassent donc à périmètre constant. Cependant, la diminution de consommation est relativement linéaire alors que la désindustrialisation à l'Est a été très rapide : elle est donc également due à des changements techniques, et pas seulement à des transformations macro-économiques.

⁴³ Favorisant le bouclage des cycles de matière et diminuant la production de rejets ou déchets.

changement d'utilisation des produits chimiques. L'ensemble de ces mesures a permis d'optimiser certains processus de fabrication industrielle et de les rendre moins gourmands en eau.

3/ Les avancées technologiques

Cette optimisation industrielle a été accélérée par un certain nombre d'avancées technologiques, qui ont concerné la plupart des biens d'équipement pour les rendre moins aquavores et plus économes en énergie (tableau 2). Roth a pu montrer qu'une machine à laver consommait en moyenne 140 litres par machine sur la période courant entre 1965 et 1980. Les améliorations successives ont permis de passer à une moyenne de 55 litres en 2000, ce qui correspond à une diminution de 11 litres par personne et par jour en moyenne (Roth, 2003 ; Rüdener et Griesshammer, 2004 ; VDE, 2005). Symétriquement, les mécanismes d'autres équipements comme les toilettes ont été améliorés, avec des chasses économes de seulement 6 litres à partir de 1985⁴⁴ et des chasses à double bouton depuis les années 2000 (Böhm et al., 2002 ; Roth, 2003). Des perlisateurs ont pu également remplacer les douches classiques (Böhm et al., 2002 ; Klobasa, 2009). Ces améliorations ont constitué autant de facteurs de la diminution globale des consommations d'eau (et d'énergie). Il faut toutefois noter que ces innovations technologiques ont souvent un coût élevé, qu'elles ne sont donc pas nécessairement distribuées de façon universelle et qu'elles peuvent être moins utilisées par les populations les plus pauvres (Aqua, 2014).

Douche	Vieux modèles ⁴⁵	20-25 litres par minute
	Modèles récents ⁴⁶	6-10 litres par minute
Chasse d'eau (toilettes)	Vieux modèles	9-14 litres par chasse
	Modèles récents	3-9 litres par chasse
Lave-linge	Vieux modèles	145 litres par lavage (5kg)
	Modèles récents	35-42 litres par lavage (5kgs)
Lave-vaisselle	10-14 litres par lavage	

Tableau 2 : Des appareils ménagers plus économes en eau

Source : Klobasa, 2009

⁴⁴ Ce qui correspond à une diminution d'environ 15 litres par personne et par jour entre 1980 et 2000.

⁴⁵ Le terme de vieux modèles correspond à des modèles datant de la fin des années 1980 ou du début des années 1990.

⁴⁶ Au moment de l'écriture de la thèse de Klobasa, soit 2009. Les chiffres ont pu continuer à diminuer.

4/ L'influence de la facture : le facteur tarifaire

Cet accès possiblement différencié aux équipements moins aquavores rappelle un autre facteur décisif dans la consommation d'eau, le facteur économique lié à la facture. L'eau est certes un bien traditionnellement caractérisé par une faible élasticité : une augmentation du prix de l'eau de 1% entraîne généralement une baisse de moins de 1% de la consommation (Schleich et Hillenbrand, 2007). Pour autant, l'augmentation des prix ou la mise en place d'un tarif par bloc croissant⁴⁷ (Aqua, 2014) a un impact sur les comportements des ménages, notamment les moins favorisés, qui cherchent à limiter leur consommation.

Si les gros usagers répondent assez facilement à l'augmentation des prix, l'adaptation est souvent plus complexe pour les usagers domestiques (Barraqué, 2005). Bernard Barraqué va jusqu'à parler de « sublimation répressive » pour décrire le processus et ses conséquences pour les usagers (Barraqué, 2005) : le discours européen hégémonique insiste sur la nécessité de ne pas gaspiller, ce qui se traduit mécaniquement par une augmentation des prix unitaires et la possibilité de se retrouver parfois à consommer moins en payant davantage.

5/ Les facteurs démographiques

A ces facteurs technologiques et socio-économiques, on peut ajouter une strate supplémentaire, celle des aspects démographiques jouant à la baisse sur les consommations. Deux séries d'arguments ont pu être apportés, qui sont inégalement convaincants.

Le premier tient lieu de quasi truisme et concerne les villes ayant perdu des habitants, les *shrinking cities*⁴⁸. La perte d'habitants implique assez mécaniquement une baisse du volume total consommé par une ville ou un quartier (Hüesker et al., 2011). De nombreux numéros de revues professionnelles du DWA (Deutscher Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.⁴⁹) sont ainsi consacrés au tournant démographique (*demographischer Wandel*) et à ses effets sur les infrastructures (DWA, 2014).

⁴⁷ Le prix du mètre cube augmente pour tout mètre cube dépassant un certain niveau de consommation. C'est la tarification dissuasive la plus classique (Montginoul, 2007 ; Fauquert et Montginoul, 2011).

⁴⁸ Sur lesquelles nous reviendrons plus en détails dans la mise en contexte de notre terrain d'étude de Magdeburg dans le chapitre 3.

⁴⁹ Union allemande de l'industrie de l'eau, de l'assainissement et des déchets.

Le second est plus délicat à évaluer et concerne les liens putatifs entre catégories démographiques et consommation d'eau. Certains travaux ont essayé de montrer des corrélations entre l'augmentation de la part des personnes âgées (de plus de 65 ans) et la diminution de la consommation d'eau (Mayer et al., 1999 ; Hummel et Lux, 2007 ; March, Perarnau et Sauri, 2010 ; Aquae, 2014), ou entre la part de populations migrantes et la diminution de la consommation (March, Perarnau et Sauri, 2010 ; Aquae, 2014). Si des corrélations sont annoncées, elles ne sont pas corroborées par des résultats sur le terrain ni par les entretiens que nous avons pu mener, qui conduisent davantage à dire que le lien entre ces différents facteurs et la consommation d'eau demeure complexe et en particulier qu'il n'existe pas de lien direct entre vieillissement et baisse de consommation d'eau.

6/ Les facteurs moraux : la conscience citoyenne

Le dernier facteur de baisse de consommation est, par essence, impossible à quantifier de façon précise. Il concerne les facteurs moraux, ou la conscience environnementale, qui pousserait certains usagers à utiliser moins d'eau pour préserver une ressource. Si le réflexe existe sans doute chez certaines personnes, son influence reste minime en comparaison des autres facteurs. Il est cependant à noter que ce facteur est souvent mobilisé dans la littérature portant sur des zones affectées par des épisodes de sécheresse récurrents et donc par des coupures d'eau plus fréquentes, qui rendraient la conscience de la rareté plus aiguë (Aquae, 2014 ; Rico Amoros et al., 2013).

L'ensemble de ces facteurs concourt ainsi à fragiliser en interne le fonctionnement des grands réseaux. La baisse de consommation vient s'ajouter aux remises en cause de la forme réseau pour renforcer une crise des grands réseaux qui se manifeste par deux éléments : le surdimensionnement et l'émergence d'une vulnérabilité infrastructurelle.

IV/ Les effets de cette crise : surdimensionnement et vulnérabilité infrastructurelle

Ces catalyseurs de crise ont des effets sur le fonctionnement général de l'approvisionnement en services essentiels, aussi bien sur les canalisations elles-mêmes que sur l'opérateur et les usagers. La baisse inédite des consommations est tout sauf neutre pour ces différents

composants du système d’approvisionnement en eau et en énergie. Comme le rappelait Susan Owens dès 1986 à partir d’une analyse des systèmes de transports en déclin de façon non prévue, ce phénomène est non seulement nouveau, mais il peut avoir des effets indésirables sur ce qu’elle appelle les 4E : « energy, economy, equity, environment » (Owens, 1986, p.39). C’est ce qu’on peut analyser en déchiffrant les enjeux du surdimensionnement (A) et l’émergence d’une vulnérabilité infrastructurelle, qui caractérise « une rupture dans la trajectoire technologique de l’objet-réseau » (Chatzis, 2000, p.157) (B).

A/ Les contours du surdimensionnement

La transformation infrastructurelle à l’œuvre s’effectue dans un contexte de diminution des économies d’échelle, d’envergure et de club (Coutard et Rutherford, 2013), qui rend le grand réseau, pour ses usagers, plus cher, moins efficient et plus instable (Koziol, 2008). Cela se traduit notamment par des problèmes techniques (1) et par une impasse économique concernant le financement des réseaux (2).

1/ Un problème hydraulique et technique : le miasme sans la jonquille

Le changement d’usage du grand réseau remet en cause les propriétés techniques des canalisations et met à mal leur fonctionnement. La sous-utilisation du réseau (ou son symétrique : son surdimensionnement) vient en altérer les fonctionnalités techniques.

Les effets sur les réseaux d’eau

Pour les réseaux d’eau, on note principalement trois effets principaux : une augmentation du temps de résidence de l’eau dans les tuyaux, des problèmes de stagnation et de corrosion. Le temps de résidence est le temps passé par l’eau entre le moment où elle sort de l’usine de traitement et le moment où elle sort du robinet d’un usager. Plus il est long, du fait de la stagnation et de la trop faible consommation, plus les effets du traitement se dissipent et plus les effets négatifs comme la corrosion se développent (UKWIR, 2010).

Comme le rappelle un rapport du ministère de l’Agriculture français en 2002, le réseau est à comprendre comme un réacteur, où l’eau et son contenant sont le siège d’interactions physico-

chimiques et biologiques. Un certain nombre de microorganismes sont introduits dans le réseau et ne peuvent être tous éliminés par le traitement. Ces organismes circulant ainsi dans le réseau peuvent se fixer sur les parois des canalisations et deviennent une première couche sur laquelle peuvent se développer d'autres couches plus actives, qui constituent des niches écologiques. La présence de ces niches offre des conditions d'anaérobiose (présence de vie sans oxygène) qui permettent le développement de bactéries générant de la corrosion ou la prolifération de coliformes (Ministère de l'Agriculture, 2002). La température joue un rôle important dans ce processus : elle favorise non seulement les goûts et odeurs désagréables, mais elle catalyse également une partie des réactions physico-chimiques et biologiques. Elle est un accélérateur de la croissance bactérienne et dissipe les effets du chlore résiduel, ce qui, en outre, amplifie la corrosion. Les périodes estivales sont, de ce point de vue, assez critiques pour le maintien de la qualité de l'eau. La température monte également plus facilement quand la vitesse de l'eau diminue.

La diminution de la consommation a donc pour conséquence un ralentissement du flux s'écoulant dans les tuyaux et un plus faible renouvellement de l'eau, qui sont autant de foyers potentiels pour des développements bactériens, qui peuvent rendre l'eau non potable (BBR, 2011)⁵⁰. Ces phénomènes conduisent à l'apparition de *cold spots*⁵¹ (Moss, 2008a) du réseau, où la qualité de service est dégradée.

Dans certains cas de réseau très maillé, on peut parfois noter des inversions de sens de circulation de l'eau, ce qui est un contexte favorable à la dégradation de la qualité de l'eau et à l'altération des conduites (Ministère de l'Agriculture, 2002). Comme le disent Seiler et Poch d'une manière volontairement polémique : « il y a certaines zones industrielles dans lesquelles ne coule plus rien et où les lois de l'hydrodynamique ne sont plus d'actualité » (Seiler et Poch, 2003, p.4).

Cette altération des capacités du réseau est assez largement décrite dans la littérature germanophone (BBR, 2011 ; Herz et Marschke, 2005 ; Moss, 2008b), qui est une des rares à envisager les enjeux du surdimensionnement infrastructurel, notamment dans les villes de tradition industrielle, dans la partie orientale du pays ainsi que dans la Ruhr ou la Sarre (Hummel et Lux, 2007). Les différents articles rappellent que la diminution de consommation

⁵⁰ Les problèmes de stagnation favorisent la corrosion, et les dépôts apparaissent dès que la vitesse de l'eau est inférieure à 0,01m/s ; ils disparaissent quand elle est au-delà de 0,1m/s. (Ministère de l'Agriculture, 2002)

⁵¹ Expression qu'il faut prendre dans un sens métaphorique, par opposition à des *hot spots*, zones de forte demande et de services de haut niveau de performance.

peut avoir des impacts négatifs en termes d'hygiène, sans bénéfice pour l'environnement (Koziol, 2004). Le recours aux approvisionnements alternatifs a ainsi sa face sombre, puisqu'il peut contribuer à altérer la qualité de l'eau distribuée par le réseau (Cornut, 2003) en favorisant la prolifération de nids bactériens. Cette prolifération est limitée et sans conséquence si les débits restent importants, mais devient problématique quand les débits baissent trop. Il y a donc un seuil limite de baisse de la consommation en-dessous duquel les problèmes sanitaires s'amplifient, seuil qui varie selon les conditions climatiques et topologiques locales.

De fait, de nombreux opérateurs ont intérêt à ce que les consommateurs utilisent plus d'eau (Moss, 2008b), démontrant la contradiction manifeste entre volonté d'économie de la ressource et besoin du réseau. Cet aspect contradictoire fut d'ailleurs repris de façon mi-humoristique et mi-sérieuse par Ralf Schüller, président de la Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA), qui déclara dans la *Tageszeitung* : « il serait en fait dans l'intérêt des citoyens eux-mêmes de se doucher une fois de plus ! » (Wissen, 2009). Au-delà de l'anecdote, ces propos mettent en lumière que si la réduction de la consommation en eau peut sembler bénéfique pour préserver la ressource⁵², elle pose des problèmes infrastructurels importants (Schleich et Hillenbrand, 2007), qui affectent également les réseaux d'assainissement.

Les effets sur les réseaux d'assainissement

Pour les réseaux d'assainissement, les effets de la diminution de la consommation sont principalement de deux ordres : des problèmes d'hydraulique et des nuisances olfactives.

La baisse de consommation d'eau se répercute sur le réseau des eaux usées de façon assez mécanique (Ziedorn et al., 2008 ; BBR, 2011). La diminution de l'eau dans les conduites d'assainissement fait que les dépôts y sont plus importants, moins souvent lavés par un flux liquide plus faible. Le volume d'eau baisse, mais pas la charge, qui reste constante par habitant : si le volume d'eau baisse, la force de traction permettant d'entraîner la charge n'est pas suffisante et les matières fécales et autres rejets ne sont pas évacués vers la station de traitement. C'est ce qui permet le développement, dans les canalisations, de composants plus lourds, qui

⁵² Par ailleurs, la consommation urbaine d'eau est, en fait, majoritairement indirecte. La plus grande partie de l'eau consommée est intégrée dans des processus de transformation des biens de consommation destinés aux populations urbaines. Ces usages indirects sont quatre à cinq fois supérieurs aux usages directs (Florentin et Coutard, 2015).

peut causer d'éventuels blocages du réseau et qui génère cette odeur sulfureuse d'œuf pourri caractéristique des conduites d'eaux usées encombrées. La diminution du volume d'eau engendre ainsi une plus grande concentration en acide, qui contribue à faire monter la température de l'eau usée (Seiler et Poch, 2003), ce qui renforce les effets odorants. Au final, cela se traduit par une plus forte corrosion des canalisations, qui diminue de ce fait leur durée d'utilisation, et par des traitements plus coûteux au niveau des stations d'épuration (Koziol, 2008). La diminution de la consommation d'eau a donc pour répercussion une détérioration du système des eaux usées et une augmentation des contraintes opérationnelles, qui entraînent des coûts supplémentaires.

Les effets sur les réseaux de chaleur

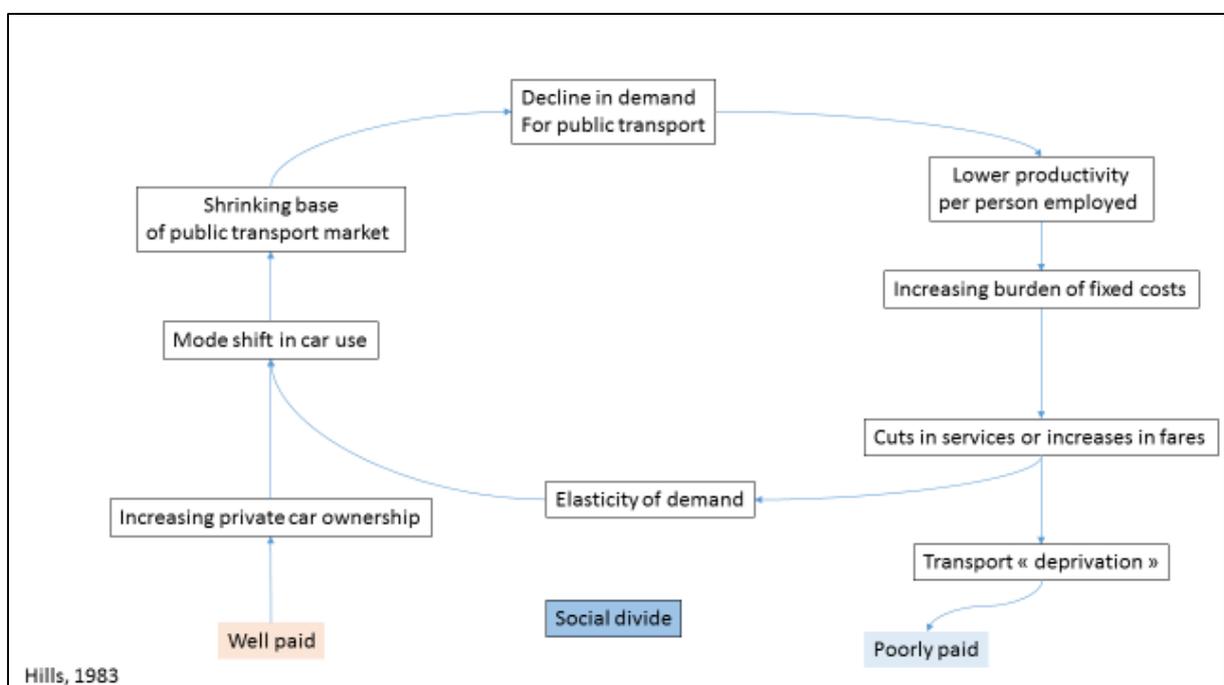
La littérature est en revanche beaucoup moins prolixe sur les réseaux de chaleur. Un seul effet semble notable : la déperdition aggravée de chaleur (Koziol, 2004). La trop faible consommation rend le réseau moins efficace, les pertes proportionnellement plus importantes. Dans certains cas, la baisse est si sensible que les opérateurs se voient dans l'obligation de couper le branchement, dont le maintien dans un système centralisé devient trop coûteux (Koziol, 2008).

2/ Un problème économique : les limites du système de financement classique

Ces dysfonctionnements techniques génèrent des coûts supplémentaires pour maintenir le réseau et le service à un degré constant de qualité. Dans un système de recouvrement complet des coûts par la facture tel que le professe l'article 9 de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau (Loubier et Gleyses 2011), ces coûts doivent être portés par les seuls usagers via la facture. D'une certaine manière, la baisse de la consommation vient réinterroger la pertinence du modèle de financement classique des infrastructures, et en particulier des réseaux d'eau et d'assainissement. Car comme le rappelle Géraldine Pflieger, « en consommant moins d'eau, on fait du bien à l'environnement, mais on met en danger l'assise financière des services et la durabilité technique de l'équipement » (Pflieger, 2009, p.69).

Ce principe de recouvrement total des coûts vient de l'école française de l'eau (Guérin-Schneider, 2011) et repose sur l'idée imposée par l'Etat depuis la fin des années 1960, dans un contexte de croissance urbaine et de croissance de la consommation, que les opérateurs d'eau

dans les communes les plus importantes doivent recouvrer leurs dépenses d'exploitation et d'investissement. Le principe a été repris au niveau européen, mais se voit confronté à de nombreuses limites, que la baisse de consommation vient rendre encore plus aiguës, au point que « les coûts de gestion deviennent envahissants et ils ne sont plus compensés par des économies d'échelles » (Scherrer, 2011, p.376). Ses effets à court terme ont été déconstruits brillamment par Bernard Barraqué, qui a démontré que de telles politiques tarifaires, qui n'ont pas été appliquées dans le Nord de l'Europe, pourtant plus prospère, au cours des cent cinquante dernières années, créent essentiellement de la défiance des usagers vis-à-vis du service public et installent une relation de service phagocytée par sa composante commerciale (Barraqué, 2005). Un tel système, dans un contexte de baisse de consommation, revient à faire augmenter mécaniquement les factures de tous, ce qui est considéré comme une forme de schizoïdie par Bernard Barraqué (2005), montrant les frictions entre les composantes technique et économique-institutionnelle de la gestion des réseaux (Bolognesi, 2013). On retrouve derrière ces débats une reproduction du schéma que dénonçait Hills à propos des transports publics en déclin, qui se résumait à l'axiome « public transport should pay its way » (cité par Owens, 1986, p.40) et qui se traduisait par une sorte de cercle vicieux entraînant une désaffection plus grande vis-à-vis des transports (graphique 3).



Graphique 3 : Les effets négatifs du principe « transport should pay its way »

Source : Hills, 1983

Le surdimensionnement infrastructurel et les surcoûts qu'il engendre permettent ainsi de relire la gestion des infrastructures au prisme de la problématique du piège des coûts fixes (*fixed cost trap*) (Naumann et Bernt, 2009). Les grands réseaux techniques ont pour caractéristique première d'avoir des coûts fixes très élevés, qui se montent notamment à 80 voire 90% des coûts totaux pour les réseaux d'eau et d'assainissement. Ces coûts fixes recouvrent notamment les coûts de personnel, le capital (patrimoine à amortir), et certaines parties du fonctionnement du réseau et de sa maintenance (Seiler et Poch, 2003, Barraqué, 2005). Ces coûts sont à la hausse, en raison de la complexification des normes environnementales mais aussi des surcoûts d'entretien liés au surdimensionnement. Cette problématique de coûts fixes en hausse et de recettes déclinantes met à mal l'équilibre financier traditionnel des réseaux d'infrastructure et fait du surdimensionnement un facteur de déséquilibre supplémentaire, rendant plus urgent le changement de modèle économique. Le risque qui traverse cette problématique économique est de voir se développer à la fois une pauvreté énergétique ou une pauvreté en eau (Subrémon, 2011) et des réponses individuelles, avec l'utilisation de ressources alternatives qui est surtout le fait des ménages les plus aisés (Prévédello, 2013). Ces deux risques rappellent la dimension sociale et politique de la gestion des infrastructures (Graham, 2010), et indiquent l'émergence d'une forme aiguë de vulnérabilité à la croisée de ces différents éléments, la vulnérabilité infrastructurelle.

B/ Une vulnérabilité infrastructurelle

La notion de vulnérabilité infrastructurelle n'a pas été théorisée en tant que telle dans la littérature scientifique. Nous souhaiterions ici lui donner corps, pour synthétiser un certain nombre des aspects de la crise des grands réseaux que nous avons détaillé dans ce chapitre, afin de montrer que les *Large Technical Systems* sont plus vulnérables et moins stables que ce que de nombreuses représentations sociales laissent accroire (comme le rappelle Summerton, 1994). Cette vulnérabilité a un fondement, lié à la nature de services publics des différents réseaux d'infrastructures : les opérateurs ont une obligation vis-vis de leurs réseaux, ceux-ci *doivent* fonctionner (Hutton, 1998), c'est là une condition préalable au succès de la vie moderne (van Vliet et al., 2005).

1/ Vulnérabilité urbaine et vulnérabilité infrastructurelle

Comme la plupart des composants de la fabrique urbaine, les infrastructures sont soumises à un certain nombre de vulnérabilités (Chaline et Dubois-Maury, 2004 ; Pigeon, 2005 ; ou Reghezza, 2006 pour une synthèse sur le sujet), étant même considérés par certains comme les systèmes les plus vulnérables des villes modernes (Monstadt, 2009), en raison de leur complexité technique et des effets démultipliés d'un incident sur l'ensemble du réseau (Moss, 2008b ; Little, 2010). Little explique ainsi que les conséquences d'une panne d'infrastructure peuvent aller de l'ennuyeux au catastrophique, en reprenant le principe de Perrow développé dans *Normal Accidents*. D'après celui-ci, les systèmes complexes couplés « predictably fail, but in unpredictable ways » : des perturbations mineures causent parfois des dégâts importants, comme en témoigne la panne électrique en cascade de 2003 qui a plongé dans le noir une grande partie du Nord Est des Etats-Unis et du Canada pendant plusieurs jours.

Les infrastructures sont ainsi incluses dans les dynamiques de ce que Michel Lussault appelle la « vulnérabilité urbaine », qu'il envisage comme « la probabilité qu'une ville connaisse un incident majeur de quelque nature qu'il soit. Par incident majeur, on entend un événement qui perturbe durablement le système urbain et son fonctionnement » (Lussault, 2010). Les grands systèmes techniques sont à cet égard vulnérables aux aléas naturels ou technologiques (Little, 2010) et en sont même parfois des vecteurs d'amplification (Blancher, 1998)⁵³. La rupture de continuité du réseau peut ainsi avoir des effets en cascade sur l'ensemble du fonctionnement d'un territoire, comme l'ont montré les travaux de Stephen Graham (2010) ou de Sarah Bouchon (2011).

Pour autant, les enjeux du surdimensionnement des grands systèmes techniques mettent au jour un nouveau type de vulnérabilité, plus intrinsèque, qui touche l'ensemble du système sociotechnique, de l'infrastructure à ses usagers en passant par l'espace urbain desservi, et que nous appelons vulnérabilité infrastructurelle.

Pour la définir simplement, la vulnérabilité infrastructurelle est une forme de vulnérabilité propre aux réseaux techniques urbains. Il s'agit à la fois d'un indicateur et d'un processus. C'est l'indicateur, à un moment donné, de la fragilité économique et des dysfonctionnements

⁵³ Les réseaux constituent « un élément puissant de diffusion des sinistres à l'ensemble de l'espace urbain, soit en « déplaçant » l'aléa (pollution accidentelle transportée par le réseau d'assainissement), soit en diffusant et en amplifiant l'impact de l'aléa (embouteillages dus à une catastrophe qui ralentissent l'arrivée des secours) (Blancher, 1998, p. 21) cité dans Reghezza, 2006.

matériels du système sociotechnique, qui peut conduire, sur le long terme, à une rupture profonde de l'équilibre entre les différents éléments⁵⁴ du système, voire à une rupture du système lui-même. On peut, à ce titre, la définir comme un indicateur du changement de régime sociotechnique. La vulnérabilité infrastructurelle est également le processus, inscrit dans le temps long, qui conduit à la dégradation du fonctionnement de ce système sociotechnique⁵⁵, autrement dit la propension du système technique à se dégrader et à dysfonctionner. Certains phénomènes extérieurs, comme la baisse de la consommation, sont ainsi des symptômes de cette dégradation, et un signe d'un changement des équilibres entre opérateurs, usagers, régulateurs, territoires et canalisations.

Cette vulnérabilité des grands systèmes techniques repose donc sur une crise courant sur une échelle de temps relativement longue et sur des transformations lentes mais néanmoins cruciales⁵⁶, aussi bien spatiales, techniques, politiques que sociales et économiques (Moss et Naumann, 2005), et qui correspondent principalement à la gestion d'un système fondé sur la croissance et confronté aux défis d'une société sans croissance (de la demande). Moss et Naumann listent ainsi cinq défis que doivent surmonter les opérateurs de réseaux d'eau et qui synthétisent certains des grands facteurs aggravant potentiellement la vulnérabilité infrastructurelle :

- les processus de libéralisation et les nouvelles régulations imposant l'introduction du benchmarking,
- la commercialisation et les mouvements de privatisation rampants, sensibles dans les transformations des statuts juridiques des opérateurs,
- des finances publiques très limitées, qui obèrent les capacités d'investissement dans la maintenance et le renouvellement des réseaux,
- les exigences environnementales accrues, imposées notamment par l'Union Européenne,
- la continuation de la baisse des consommations.

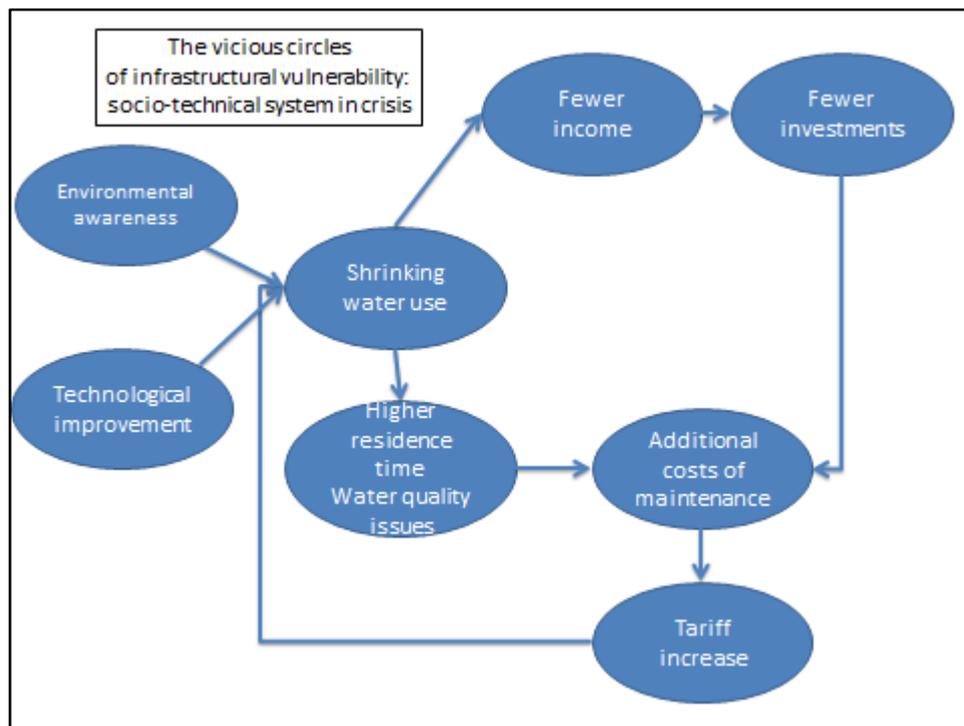
Mis bout à bout, ces facteurs tracent les contours d'un système infrastructurel en pleine mutation et caractérisé par de nombreuses fragilités. La vulnérabilité infrastructurelle émerge donc dans un contexte où les infrastructures techniques sont vieillissantes et doivent

⁵⁴ A savoir l'opérateur, le réseau dans sa partie matérielle, les usagers, les instances de régulation et le territoire desservi, qui fonctionnent de façon assez interdépendante.

⁵⁵ Ce qui peut être suivi par l'émergence d'un système sociotechnique alternatif.

⁵⁶ Cette vulnérabilité est d'autant plus grande que les infrastructures sont, comme on l'a vu, caractérisées par leur manque de flexibilité et leur forte historicité (*path dependency*) (Kluge et Scheele, 2008 ; Hüesker et al., 2011)

constamment être plus entretenues, et où la facture d'eau moyenne augmente au point de limiter son acceptabilité et son accessibilité sociales et économiques (Barraqué, 1998 et 2009 ; Souriau, 2014). La facture d'eau et d'assainissement représente par exemple un second loyer pour certaines personnes en Brandebourg (Moss et Naumann, 2005), signe du poids envahissant d'un service entré dans une crise qui s'autoalimente (graphique 4).



Graphique 4 : Les cercles vicieux de la vulnérabilité infrastructurelle

Source: D. Florentin, 2014

Cette vulnérabilité infrastructurelle est à la fois le reflet d'une crise des grands réseaux, mais aussi un moteur de transformation urbaine, puisque certains de ses composants peuvent être à l'origine de nouvelles disparités socio-spatiales (Moss et Naumann, 2005 ; Kluge et Scheele, 2008). Elle a parfois également des manifestations urbaines inattendues, qui la font sortir du caractère « d'infrastructure discrète de la vie quotidienne » (Barbier, 2011). Ces petits désordres urbains témoignent de sa capacité à perturber non seulement le système infrastructurel, mais le système urbain dans son ensemble. La diminution des consommations d'eau a ainsi eu des effets aussi imprévus que gênants, qui ont pu être notés essentiellement dans des cas allemands et qui ont vu les nappes phréatiques remonter de façon un peu trop importante au point d'inonder des caves, aussi bien à Berlin, qu'à Hanovre ou à Magdeburg (Wissen et Naumann, 2006 ; LHW,

2012 ; Florentin, 2015). La crise des grands réseaux techniques a aussi ses petites histoires et est aussi une crise des pieds mouillés.

2/ Une crise créatrice ? Les chemins de la bifurcation

Le risque gouvernant cette forme de vulnérabilité est donc celui d'une érosion progressive de l'ensemble du grand système sociotechnique, sous l'effet de facteurs multiples. Pour autant, comme l'évoque tout à fait clairement Lussault (2010), cette vulnérabilité n'est pas une fatalité ni même une menace, mais « un élément de la dynamique permanente de l'organisation urbaine. (...) Evoquer la vulnérabilité, c'est s'interroger sur les éléments de déstabilisation, ainsi que sur la dynamique des systèmes urbains. C'est parce que ces systèmes sont dynamiques qu'ils sont vulnérables, mais aussi parce qu'ils sont vulnérables qu'ils sont dynamiques. Pour réparer ou se prémunir face à cette vulnérabilité, les acteurs sociaux mettent en place des stratégies, des outils et des instruments d'intervention » (Lussault, 2010).

La vulnérabilité infrastructurelle est donc à la fois un reflet de la crise que traversent les opérateurs de grands réseaux techniques, mais aussi le moteur de leurs transformations, pour absorber les chocs de ce contexte imprévu de consommation et de recettes diminuées. Elle a donc ses vertus créatrices (Owens, 1986), permettant de repenser la fourniture d'eau et d'énergie. Les changements de fonctionnement d'un réseau technique sont alors à comprendre comme les signes avant-coureurs d'un changement de régime d'infrastructure urbaine (Monstadt, 2009), et donc d'une bifurcation pérenne, où les diminutions de consommation pourraient constituer une opportunité plutôt qu'une menace (Londong, 2003). L'un des enjeux est en fait d'imaginer dans quelle mesure le service d'eau et le service technique urbain en général peuvent être un *merit good*, à savoir un bien dont l'accès est ouvert à tous, à un prix abordable et qui ne soit pas excluant (Schouten et Schwartz, 2006).

Le dépliement des ressorts de cette vulnérabilité infrastructurelle permet ainsi à la fois de comprendre pourquoi et comment le modèle économique traditionnel des gestionnaires de réseaux vacille, mais aussi quelles sont les stratégies mises en place par les opérateurs de réseaux pour réinventer progressivement, de façon plus ou moins aboutie ou réussie ou stable, le modèle de la firme de grands réseaux.