

Laurence Lestel, Michel Meybeck, Catherine Carré

LE CITTÀ E LE ACQUE: BERLINO, BRUXELLES, MILANO, PARIGI.

Una storia interdisciplinare comparata della qualità dell'acqua.

Presentiamo nelle pagine che seguono la parte introduttiva e di valore metodologico della relazione recentemente presentata a Parigi sui risultati di un progetto internazionale di ricerca dedicato alla storia della qualità dell'acqua, progetto al quale hanno collaborato per parte italiana diversi collaboratori di "Milano città delle scienze".

Intitolato "Analisi a lungo termine dell'impatto di una megalopoli sul suo ambiente acquatico nel corso del suo sviluppo: Berlino, Bruxelles, Milano, Parigi", il progetto si inseriva nel programma Pirve (Projet interdisciplinaire de recherche sur la ville et l'eau) promosso e finanziato in Francia dal ministero per l'Ambiente e dal Cnrs.

L'indagine è stata concepita di lungo periodo, ossia dalla metà del XIX secolo ad oggi e si è imperniata sul raffronto dell'evoluzione della qualità dell'acqua in quattro grandi città europee: Berlino, Bruxelles, Milano e Parigi.

Dei tre co-autori delle pagine che seguono, i primi due, Laurence Lestel e Michel Meybeck, fanno parte dell'unità di ricerca capofila del progetto di ricerca, ossia l'UMR 7619 "Structure et fonctionnement des systèmes hydriques continentaux" dell'Université Pierre et Marie Curie (Paris 6), mentre Catherine Carré, geografa, lavora all'Université de Paris I - Sorbonne.

Laurence Lestel, Michel Meybeck (Université Pierre et Marie Curie, Paris), Catherine Carré (Université de Paris I – Sorbonne)

De l'intérêt du temps longs, de l'interdisciplinarité et l'intercomparaison dans les études environnementales: les couples villes-rivières de Berlin, Bruxelles, Milan et Paris.

sur la base des monographies et des articles d'intercomparaison des participants du programme:

R. Airoldi, S. Ayrault, A. Baro, J. Belliard, S. Beslagic, C. Billen, G. Billen, N. Brion, J. Callens, A. Cavallin, C. Deligne, O. Evrard, A. Euzen, J. Garnier, A. Gozzoli, A. Guillerme, J.-P. Haghe, M. Kervyn, A. Kohlbrenner, C. Ledent, I. Lefèvre, J.-M. Mouchel, I. Parmentier, P. Passy, L. Peracchi, P. Redondi, D. Renders, M. Ricchiuti, P. Servais, F. Stefani, E. Tales, B. Tassin, G. Tartari, K. Winklhöfer, C. Wolter.

La relation d'une très grande ville à son cours d'eau s'avère aujourd'hui être une des dimensions de la capacité d'une ville à s'inscrire dans une gestion durable. Elle s'écrit dans une volonté de rupture par rapport aux modes de faire précédents, ajoutant l'étude des effets de l'artificialisation des cours d'eau et la perte de biodiversité à ceux des prélèvements et des rejets de polluants, sans que l'on ait pourtant achevé de définir, d'étudier toutes ces dégradations.

Parmi ces villes, certaines se distinguent par la pression exercée sur leur cours d'eau, tant par la faiblesse du débit de ce cours d'eau que par l'ampleur des impacts. Si la population de l'agglomération parisienne est dix fois supérieure à celle de Bruxelles, la pression relative que ces deux villes imposent à leur cours d'eau est du même ordre de grandeur. De ce point de vue, les quatre villes sélectionnées sont similaires. Pour autant, les perceptions que les habitants ont eu de la

dégradation de la qualité et les réponses apportées n'ont pas été les mêmes.

Il paraissait ainsi stimulant de bénéficier d'une lecture conjointe des chercheurs de sciences de l'environnement et de sciences humaines et sociales pour étudier les impacts de ces villes sur leur cours d'eau depuis le milieu du XIXe siècle, en mettant en relation les mesures scientifiques effectuées pour décrire ces impacts, les usages et les perceptions de ces cours d'eau par les contemporains ainsi que les décisions prises pour répondre aux impacts sur le milieu aquatique.

Trois équipes, bruxelloise, milanaise, berlinoise, ont répondu à l'appel de chercheurs parisiens, pour étudier le couple ville-rivière et la trajectoire de l'impact de ces très grandes villes sur de si petits cours d'eau (Senne, Lambro, Spree).

Pour réaliser ce projet interdisciplinaire, nous avons mobilisé un certain nombre de notions tout en confrontant régulièrement nos démarches et cheminements. Nous explicitons ici quelques-unes de ces notions ainsi que les résultats principaux concernant l'analyse de ces quatre couples ville-rivière, tant en termes de trajectoires que d'intercomparaison.

Les cadres du projet

Rappelons tout d'abord que le projet décrit les relations des villes avec leur milieu aquatique selon trois dimensions: celle liée aux aspects de la ville technique et de ses infrastructures, celle considérant la rivière et son système aquatique, et celle considérant la société urbaine, ses institutions et acteurs, ses perceptions et actions concernant la qualité de l'hydrosystème. Ces relations ont été étudiées tant dans leur espace que dans le temps, entre 1850 et nos jours.

Définitions

D'après Jollivet et Legay (2005), l'interdisciplinarité est une démarche de recherche construite en assemblant de façon méthodique des connaissances, des points de vue et des techniques de travail provenant de disciplines scientifiques différentes (voir aussi Galochet et al., 2008).

Nous avons mobilisé des connaissances de plusieurs registres et de disciplines multiples (voir cidessous) pour évaluer la relation entre quatre grandes villes européennes (les « mégapoles ») et la qualité de leur cours d'eau, dont le très petit débit n'était pas à même de supporter la pression, que le cours d'eau soit dans la ville même (Berlin, Bruxelles, Paris), ou en périphérie proche (Milan). Par « mégapole », nous entendons ici des très grandes villes dont la croissance a conduit à la formation d'agglomération dépassant largement en surface et en population, ainsi qu'en rayonnement et en poids économique, la ville initiale. Cette extension de la ville, dont nous avons tenu compte en considérant leurs évolutions spatiale et démographique, contraste avec le milieu naturel que nous avons mis en regard: la rivière avec son bassin versant est considérée comme une entité bornée, qui n'est modifiée en surface que marginalement lorsqu'elle est canalisée ou couverte.

Par la notion de trajectoires ville-rivière, nous désignons l'analyse que nous avons réalisée des tendances d'évolution entre la ville et son cours d'eau. Par rapport au contenu factuel d'une évolution, la notion de trajectoire comprend une interprétation des éléments sélectionnés pour répondre à la question posée. Le temps long de la relation des villes avec leur cours d'eau est saisi au travers des tendances fortes, des points saillants d'une relation entre:

- la perception des impacts, de la pollution et de ses effets,
- leur formulation par les scientifiques, les techniciens et les politiques,
- ainsi que les mesures à prendre pour y remédier.

Les périodisations de ces différentes trajectoires varient selon les villes, rejoignant les constats

d'autres géographes et historiens de l'urbanisme (Lepetit et Pumain, 1993; Tomas, 2003).

Le passage d'une trajectoire à une autre pose la question du pourquoi, sachant que les réponses sont à chercher autant dans des réajustements, des bifurcations que dans des ruptures techniques ou politiques.

Fenêtre temporelle du projet

Ces trajectoires de la relation entre la qualité de l'eau et la ville ont été analysées sur la période 1850-2010 qui offre des points de départ relativement similaires et un point d'arrivée unique pour les quatre villes étudiées. Au point de départ, la pression exercée sur le milieu est faible, surtout domestique. Ce point, en 1850, se situe avant le début de la surveillance du milieu aquatique, en termes de qualité, utilisé en tant que ressource en eau; le point d'arrivée commun, en 2010, correspond à un constat général d'une restauration certaine de la qualité physico-chimique des cours d'eau et d'un début de restauration biologique, en parti sous l'effet de la Directive Cadre sur l'eau (DCE) depuis 2000. Entre ces deux points existent des points intermédiaires qui correspondent au maximum d'impact des villes sur leurs milieux aquatiques. Ces points ne sont pas nécessairement synchrones entre les quatre villes.

Similarités entre les quatre villes

Les quatre villes sélectionnées ont des points communs nombreux: elles sont toutes situées en Europe de l'Ouest et ont une longue histoire – mille à deux mille ans. Elles sont caractérisées par une croissance marquée au cours du XIXe siècle. Ce sont des capitales nationales ou régionales disposant d'un haut niveau de connaissance scientifique et de moyens techniques.

Au cours du XIXe, et même avant pour Milan, le développement urbain a conduit à une artificialisation des rivières au point qu'elles sont aujourd'hui classées en « milieux profondément modifiés » par la DCE.

Les quatre villes ont apportées, depuis 1850, des réponses conduites par la technique dont l'inertie face au changement suit la notion de « path dependence » (le poids des infrastructures techniques est tel qu'il est difficile de changer de système) (Daumas 1991), Il en résulte un cadre similaire d'interprétation de la relation entre les impacts de la ville et la qualité de l'eau fondé sur la notion de capacité de dilution du cours d'eau, notion qui perdure jusque dans les années 1980, où l'attention est recentrée sur la qualité des milieux (faune et flore) et le maintien ou la reconstitution des fonctionnalités physiques de la rivière.

Le cadre du DPSIR

Les partenaires du projet étant historiens, hydrologues, chimistes, géographes, anthropologue, nous avons besoin d'un cadre conceptuel pour mettre en commun nos approches diverses de la qualité de l'eau, et donc pouvoir en décrire des trajectoires. Pour cela, nous avons utilisé le cadre conceptuel du DPSIR (Drivers/Pressions/Etat/Impacts/Réponses) qui est un schéma développé par l'Agence Européenne de l'Environnement pour décrire les relations entre les activités socio-économiques et l'environnement. Pour ce projet, nous avons considéré les éléments suivants:

- Drivers (D): facteurs de contrôle du système environnemental. Il s'agit de la démographie, des activités économiques, commerce, cours mondiaux, mais aussi des événements politiques, conflits, etc.

- Pressions (P): ce sont les pressions exercées sur le milieu naturel: rejets ponctuels ou diffus, utilisation volontaires d'intrants chimiques, modification physique des sols, des cours d'eau, de la couverture végétale, etc.
- Etat (E) du milieu: il est caractérisé par un ensemble de paramètres physiques, chimiques, écologiques, résultant d'une surveillance appropriée aux problèmes pressentis.
- Impacts (I): ce sont les impacts de la dégradation du milieu concernant la santé humaine ou animale, l'équilibre du milieu, son utilisation économique par la société. Depuis une dizaine d'année, on prend aussi en compte les « fonctionnalités » du milieu telles que régulation du climat, régulation hydrique, support de vie (life-support), fournisseur de biodiversité, etc.
- Réponses (R): Les réponses sociales visent à réduire ou à éliminer les impacts et à préserver les fonctionnalités.

Réflexions sur les avancées permises par le projet *Le schéma DPSIR: la nécessité d'une adaptation*

Le schéma DPSIR nous a permis: (i) de décrire les pressions exercées sur les cours d'eau et les nappes, les états de ces différents milieux, les facteurs de contrôle de la qualité (en particulier le développement économique et démographique); (ii) d'établir les impacts économiques, sanitaires ou sociétaux occasionnés par la dégradation des milieux aquatiques, et (iii) de rechercher les réponses de la société visant à minimiser ces impacts ou à supprimer les pressions.

Soulignons tout d'abord que le DPSIR tel que nous l'avons pratiqué nécessite de nombreuses disciplines pour comprendre le fonctionnement des objets suivants: la ville technique, la ville sociale et le milieu aquatique. Au regard du travail mené, nous proposons une adaptation du schéma de base du DPSIR en rajoutant des Fonctionnalités, des Héritages, la Législation/Régulation et des Drivers internationaux, ces nouveaux éléments permettant de rendre compte des différentes interactions que nous avons rencontrées.

Les Drivers (D) principaux sont ici la population de la ville dans son ensemble (agglomération) et l'emprise spatiale de l'agglomération par rapport à la rivière, ainsi que sa production économique, en particulier industrielle. La ville est aussi caractérisée par ses institutions relatives à l'eau, l'expérience de ses ingénieurs, de sa police des eaux, etc... Ces drivers évoluent donc dans le temps. Par ailleurs, la ville est contrainte par des Héritages (H) d'infrastructures lourdes qui sont ici: son système d'adduction d'eau, de collecte des eaux usées et des eaux de ruissellement, de localisation des prises d'eau potable et de traitement des rejets par rapport à la rivière (voir figures 3 à 6). Ces infrastructures peuvent être considérées comme immuables, traversant même les bouleversements comme les guerres mondiales.

Les Fonctionnalités (F) du milieu aquatique doivent être prises en compte: ressource en eau (rivière, nappe alluviale, bank-filtration...), transport fluvial, support de vie aquatique, épandage des crues, filtre de pollution riveraine (zones humides), ressource en granulats, espace de récréation (baignade, pêche...).

Le Milieu Aquatique (MA) est plus large que la rivière. Il comprend l'ensemble du réseau hydrographique de surface, les eaux souterraines et les zones humides. Les milieux aquatiques artificiels (réservoirs, canaux, gravières, etc.) en font partie mais on en exclut les réseaux urbains, largement contrôlés par l'homme et sans vocation de support de vie aquatique.

L'Etat (E) se subdivise en trois états physique, chimique, et écologique. *L'état physique* est défini aujourd'hui par l'artificialisation des rives (perte de connectivité latérale), l'imperméabilité des fonds (connectivité verticale) et par les obstacles limitant la connectivité amont-aval (barrages, seuils, écluses). Il se définit aussi par des régimes de débit, vitesse, hauteur d'eau, plus ou moins modifiés par l'homme. L'état physique comprend aussi la couverture des cours d'eau, le comblement ou le drainage des zones humides, le rabattement des nappes. *L'état chimique* est défini par des centaines de produits existant ou non (xenobiotiques) dans le milieu naturel. Il dépend étroitement (i) des choix des problèmes à surveiller (ii) des capacités analytiques. De 1880 à 2010, l'état chimique a été défini par un nombre de paramètres en croissance exponentielle, de quelques-uns comme l'oxygène dissous au début de la surveillance, jusqu'à plusieurs centaines dans le cadre communautaire.

Chaque paramètre a sa propre temporalité, et la surveillance vise à établir les valeurs médianes des concentrations ou des flux, ainsi que les valeurs extrêmes. *L'état écologique* est un concept plus nouveau, également très évolutif. Il est généralement établi par la combinaison de plusieurs observations faunistiques (poissons, benthos) ou floristiques (diatomées, macrophytes) sous forme d'indicateurs intégrant des dizaines d'espèces présentes ou absentes. L'état écologique intègre l'espace et le temps, de façon variable (de la station à l'ensemble du réseau, de une à plusieurs années). Notons que ces trois types de bon état n'ont pas été développés avec la même temporalité dans les quatre cas étudiés.

Notons aussi que la surveillance du milieu dans deux autres cadres: (i) pour l'alimentation humaine et/ou animale, sous l'égide du Ministère de la Santé, pour un contrôle spécifique de la qualité bactériologique. (ii) pour le contrôle des rejets radioactifs, a conduit à des réseaux de surveillance séparés ayant actuellement peu d'interactions avec les réseaux de surveillance de l'environnement.

La Déclaration de l'Etat a trait au rapportage des données de qualité du milieu. Ce rapportage se fait maintenant par une manipulation réglementée des données brutes, transformées en « indicateurs de qualité » interprétés par un code couleur, par rapport à des normes et des échelles de qualité. Celles-ci sont maintenant très formatées par les directives européennes, les conventions internationales pour les apports aux zones côtières (OSPAR, Barcelone) et les normes de l'eau potable de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS).

Les Impacts de pressions sont donc ici analysés par la comparaison de ces indicateurs avec des échelles de qualité. Pour la qualité chimique, les échelles prennent en compte le besoin des utilisateurs (eau potable, industrie, agriculture, récréation) et des espèces aquatiques (poissons surtout). Pour la qualité écologique, les échelles prennent en référence le fonctionnement naturel du milieu, compte tenu de sa diversité naturelle. Dans les milieux anthropisés que nous avons étudiés, les références sont difficiles à établir. Les impacts correspondent aussi à l'altération des fonctionnalités définies précédemment. Pour l'instant, les impacts sur l'état physique sont peu définis et quantifiés.

Les Réponses (R) commencent par les perceptions des usagers de l'eau et des riverains, par rapport à des attentes (demandes sociales). Elles sont donc exprimées – ou non - par de multiples acteurs. Elles sont aussi portées par des institutions dédiées (agences de l'eau, syndicats de rivières, ministères ...). Les Réponses passent par un consensus entre ces différentes approches, à différents niveaux: du local (les SAGE pour la France) au bassin versant fluvial, à l'échelle nationale, enfin européenne (Directives), sans compter l'échelon de l'OMS qui fédère le consensus des scientifiques sur des

critères sanitaires et même environnementaux liés à l'eau (cf. par exemple le Water Quality Criteria for Drinking Water). Une fois le consensus atteint, les réponses peuvent être apportées sous des formes multiples: (i) techniques (collecteurs, stations d'épuration...) (ii) financière (taxation, subvention...), (iii) réglementaire (seuils, normes), juridiques (responsabilité civile...) (v) économique (par action sur un secteur d'activité). Elles visent à limiter les pressions et ont une influence sur l'état et donc l'impact.

Les Héritages des infrastructures, des institutions, voire même des mentalités, limitent la marge de manoeuvre des réponses. Les systèmes de collecte des eaux usées, une fois en place sous la ville, ne sont généralement pas modifiables. Leur interconnexion est toutefois possible par des stations de relevage. Les emplacements des stations d'épurations en 2000 sont la plupart du temps situés sur d'anciens champs d'épandages, mis en place lorsque les villes avaient une toute autre configuration. Beaucoup de prises d'eau ont également été mises en place au XIXe siècle. Les institutions et leurs corps d'ingénieurs, créé au XIXe perdurent pendant des décennies, mais ont dû évoluer lors de changements socio-politiques majeurs. Ainsi à Berlin en 1948, et après 1989, les institutions ont changé mais le système d'épuration est resté le même. Ceci explique le temps parfois très long constaté entre réponse apportée et effet sur le milieu, si l'intensité de la réponse n'est pas suffisante.

Les changements de trajectoires sont toutefois possibles par (i) un changement de paradigme. Il se traduit souvent par une grande loi d'orientation, en 1964 et 1992 pour la France, la DCE pour les quatre pays (ii) une innovation technologique (dénitrification, traitement du phosphore, traitement U.V....); (iii) une catastrophe majeure qui déclenche une prise de conscience collective (comme l'incendie de l'usine Sandoz sur le Rhin en 1986); (iv) des pressions extérieures au système comme la plainte déposée contre l'Italie devant la Commission Européenne par la Grèce pour manquement à la Directive Eaux résiduaires urbaines de 1991 et sa condamnation (arrêt de la Cour (sixième chambre) du 25 avril 2002. Commission des Communautés européennes contre République italienne. Affaire C-396/00) entraînant dans l'année la décision de la construction de deux stations d'épuration par la municipalité milanaise.

La Législation-Réglementation prend de plus en plus d'importance depuis une quarantaine d'années. Elle fonde la police de l'eau, les normes qui sont à la base des objectifs de qualité, les échelles de qualité, les indicateurs qui servent au rapportage - la déclaration - de la qualité, les termes techniques de la surveillance du milieu (paramètres, fréquence, position des stations). Elle était élaborée à l'origine essentiellement au niveau des institutions locales à nationales, et ceci se retrouve pour nos quatre villes. Depuis les années 1980, elle est de plus en plus élaborée et/ou contrainte par des directives communautaires (eau alimentaire: 1975, 1998; baignade, 1975, 2006; boues urbaines, 1986; nitrates, 1991; directive cadre, 2000; milieu naturel, 2008; surveillance du milieu, 2009). Les conventions internationales de Barcelone (1976), pour la Méditerranée, et d'Oslo-Paris (1998), pour l'Atlantique, sur la réduction des apports polluants aux zones côtières deviennent une contrainte forte, de même que les normes de qualité de l'eau de boisson édictées par l'OMS.

Critique des liens de causalité dans le DPSIR

Dans un cas idéal, l'altération du milieu est vite détectée, peu remise en cause par les acteurs, fait l'objet de solutions rapidement trouvées et mises en oeuvre; c'est le cas de la lutte contre l'eutrophisation des lacs alpins, à la fin des années 1960 (Meybeck, 2002), et la dégradation de la qualité des eaux du lac Lemman par l'eutrophisation. Dans ce cas idéal, la connaissance du milieu

(Monitoring, M) était déjà existante depuis des décennies – le Léman est un des lacs les plus suivis au monde depuis 1880 – la détection du changement a été faite par les scientifiques locaux vers 1960. Elle a abouti à la création en 1965 de la Commission Internationale pour la Protection des eaux du Léman (CIPEL), qui a tout de suite mis en place une surveillance poussée, une déphosphatation aux stations d'épuration, complétée en 1985 par une interdiction totale de l'usage des détergents phosphatés en Suisse. L'ensemble de la réponse sociale a été très rapide, une dizaine d'années pour la fabrication du consensus, une quinzaine pour la réponse technique et réglementaire. La période d'état critique du milieu, l'hypoxie du fond des lacs est très limitée. La période d'impact marqué, au-dessus des seuils ciblés est plus longue, des dizaines d'années, en raison de l'inertie des milieux lacustres. Le niveau d'état visé est l'excellence (niveau bleu) en raison de la «fonctionnalité eau potable» du lac pour 400 000 personnes.

Dans les couples Ville-fleuve ce schéma idéal n'est en général pas respecté. Prenons trois exemples de pollution du milieu aquatique.

La pollution organique: sur la Seine, elle est mesurée par l'oxygène dissous dès 1874. Certaines communes à l'aval de Paris protestent mais elles ne déclenchent pas de réponse sociale marquée. Les Réponses apportées à la fin du XIXe et jusqu'après la Seconde Guerre Mondiale (évaluation des pressions, mise en place des champs d'épandage n'ont pas l'intensité suffisante pour permettre une amélioration du système. C'est la loi sur l'eau de 1964 qui va offrir un cadre législatif approprié pour trouver les solutions techniques, leur financement et leur cadre réglementaire et administratif, avec l'établissement des Agences financières de bassin (1968) et la construction d'une usine d'épuration moderne à Achères (1970). Le milieu aquatique cesse de se dégrader mais l'effort d'épuration à fournir est tel que ce n'est qu'en 1993 que la Seine sort de sa période critique vis-à-vis de l'oxygène dissous, observée depuis au moins 1874. La détection du problème a été instantanée, sans doute avec des années de retard par rapport au début de l'impact mais le consensus social a mis 80 ans à se construire, sa traduction en termes de politique environnementale quelques années seulement, beaucoup plus pour sa traduction en termes techniques (une quinzaine d'années). A Milan et à Bruxelles les consensus seront encore plus tardifs et l'application de décisions sur l'assainissement sera retardé: la Senne et le Lambro seront en zone critique jusqu'à très récemment.

La pollution métallique: Avant le début des années 1970, la contamination métallique en milieu aquatique n'était pas mise en évidence du fait des limites analytiques et d'une méconnaissance scientifique du devenir des métaux dans l'environnement. Les scientifiques seront les premiers à détecter les métaux dans les bassins étudiés dans les années 1970. La pollution métallique ne sera suivie réglementairement que dans les années 1980 (courbe tiretée, Figure 4). Elle est alors jugée importante même si les normes, critères et échelles de qualité sont alors absents. Depuis, la contamination décroît régulièrement mais reste élevée, comparée aux niveaux naturels des métaux (Cd, Cu, Hg, Pb, Zn). L'état du milieu actuel varie du jaune au vert selon les métaux. La déclaration du niveau de contamination, par rapport à des normes et des échelles de qualité, n'a pas été possible avant 1990. Lorsque dans les années 1990, et surtout 2000, on analyse les niveaux de contamination passés dans des carottes de lacs (Wannsee à Berlin), de plaine inondable (Senne aval à Bruxelles, Seine aval pour Paris) et dans des sédiments fluviaux (Lambro pour Milan, en cours d'analyse), on observe que le pic de contamination est ancien, en général après-guerre, vers 1960, soit 20 ans avant le début de la réponse sociale, mis en place surtout sous la pression communautaire. Il n'y a donc pas ici de relation causale entre la première détection de l'altération de l'état des rivières due à la présence de métaux, dans les années 1980, et l'amélioration de cet état: celui-ci est lié à des

changements directs des pressions, eux-mêmes liés à des drivers sans relation à l'époque avec des préoccupations environnementales, tels que, pour Paris, la désindustrialisation, les changements de procédés industriels, le recyclage des métaux (Lestel et al., 2007 ; Lestel 2012). La pollution en métaux par les grandes villes et leurs industries associées est donc un problème très ancien, non mesuré jusqu'en 1985, dont les impacts sanitaires resteront sans doute inconnus. Mais les héritages de cette contamination dans les sédiments dragués, les sols inondés, les terrains agricoles soumis à l'épandage des boues urbaines, se feront sentir pendant des décennies. Dans un tel cas, il est essentiel de bien analyser les causalités dans le DPSIR et d'élargir considérablement sa fenêtre temporelle.

La pollution des nappes souterraines: à Milan, la pollution de la nappe profonde qui alimente la ville par des solvants chlorés n'est détectée par chromatographie qu'après la prise de conscience de la présence de ces organochlorés dans la nappe dans les années 1970. La ville demande alors une cartographie complète de cette contamination qui permet de mettre en évidence des panaches de contamination qui convergent vers les captages, en très forte dépression piézométrique. Une douzaine de zones d'injection de ces polluants dans la nappe sont détectées en liaison avec les industries situées dans la couronne nord de Milan qui contaminent la nappe sans doute depuis des décennies. Des mesures de restauration des nappes par pompage sont alors mises en oeuvre rapidement, mais la nappe ne pourra pas revenir à son état initial - l'absence totale de solvants chlorés (niveau bleu) - avant longtemps. Si la détection du problème a été tardive, limitée par les connaissances techniques, la réponse sociale a été très rapide, en raison des enjeux sur l'approvisionnement en eau, mais l'inertie naturelle du milieu a ralenti sa restauration.

Toutes les eaux souterraines, comme les grands lacs, doivent être impérativement considérées sur le temps long: certains captages parisiens voient leurs concentrations en nitrates augmenter depuis 1950 en raison des pratiques agricoles: le lien de causalité de cette pollution est connu depuis les années 1970 mais les réponses sociales, en discussion depuis trente ans, restent très insuffisantes. Du fait de la grande inertie des nappes, les modèles prévoient que la contamination continuera à progresser dans les prochaines décennies.

Intercomparaison: des trajectoires divergentes vers une convergence actuelle

L'intercomparaison a conduit à une compréhension de la particularité des couples ville-rivière pour ces très grandes villes que l'étude par monographie ne permettait pas. Il est important de noter que ces villes restent des villes exceptionnelles dans leur réseau national, profondément marquées par l'histoire (séparation des deux Berlin après la seconde Guerre Mondiale, paralysie de Bruxelles lors de la régionalisation de la Belgique, poids de Paris dans une France centralisée, manque d'emprise politique de Milan sur son voisinage malgré son rayonnement économique et culturel) qui empêchait de réaliser ce travail de comparaison à l'échelle nationale.

Ce projet a bénéficié du fait que chaque chercheur a enrichi ses propres bases de données à la lumière des informations présentées dans le cadre des autres villes, qui l'amenait à s'interroger sur l'existence ou non des données correspondantes concernant sa propre ville (par exemple pour identifier toutes les institutions en charge de la surveillance du milieu, à partir de la liste établie pour Berlin, Tableau 1).

Tableau I: Les savants et les institutions susceptibles de travailler sur les polluants et la qualité de l'eau et des milieux: exemple de Berlin dans la seconde moitié du XIXe siècle

- 1873: Berlin Waterworks changes from private to public services
- 1876: Kaiserliches Gesundheitsamt (Imperial office).
- 1876?: Institut für Pathologie der Charite
- 1885: Institut für Hygiene der Berliner Universität
- 1891: Institut für Infektionskrankheiten – Robert Koch
- 1893: Institut für Binnenfischerei (Deutscher Fischerei Verein), since 1906 Königliches Institut für Binnenfischerei (Prussian state)
- 1897/1909: Städtisches Hauptgesundheitsamt
- Technische Hochschule Charlottenburg, Prof. C. Weigelt
- 1901: Königliche Versuchsanstalt für Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung (Prussian state)
- 1902: Preußische Landesanstalt für Gewässerkunde (State office)

L'intercomparaison a permis de mettre en perspective les constats et les solutions mises en oeuvre, leur intensité et leur temporalité, à la lumière des réactions et de décisions prises dans chacune de villes. Saisir les tendances majeures d'évolution des impacts et des réponses a consisté ici à donner du sens aux changements que l'on pouvait identifier soit dans l'état du milieu, soit dans les réponses.

L'objectif est de rendre compte des processus et facteurs qui déclenchent et/ou déterminent un type de trajectoire plutôt qu'un autre, parmi les possibles. Nous avons retenu quatre critères pour mener cette intercomparaison: la gestion de l'eau potable, la gestion des eaux usées, l'organisation des services de gestion des eaux, et enfin l'impact des actions menées vis-à-vis de la qualité des milieux, en nous aidant des monographies propres à chacune des villes.

Ces points ont amené un type de questionnement pour lequel on peut distinguer deux types de réponses opposés. Les quatre couples ont alors nettement des trajectoires différentes.

Approvisionnement en eau potable: on distingue le comportement de Milan et Berlin pour lesquels l'approvisionnement local a été rendu suffisant, soit par pompage dans un lac situé en amont (cas de Berlin et du lac Müggelsee), soit par pompage des eaux souterraines (dans le cas de Milan). Inversement, Paris et les faubourgs de Bruxelles (puis Bruxelles) ont été chercher leurs eaux potables soit très en amont soit en dehors des limites de leur bassin versant.

Collecte et traitement des eaux usées: les réponses ont été différentes selon que les rejets étaient concentrés dans des réseaux collectifs, ou au contraire diffus, représentatifs d'un assainissement individuel. Le traitement des eaux usées a été effectué soit par épandage agricole soit par traitement en station d'épuration. Une même ville a pu passer de l'un à l'autre type de réponse en fonction du temps.

Services de gestion: nous distinguons également nettement plusieurs types d'organisation des services de gestion des eaux selon que (i) l'eau potable et l'assainissement sont gérés ensemble ou séparément (ii) la gestion des eaux de la ville est séparée ou non de celle du reste de l'agglomération.

Efficacité des réponses sociales: enfin, nous constatons que les réponses apportées aux problèmes de qualité des eaux du milieu vont d'inexistantes, par exemple quand la rivière est couverte et disparaît ainsi des préoccupations de la ville et des riverains, à déterminantes, par exemple quand la DCE a obligé Bruxelles à se doter de stations d'épuration.

Comme nous l'avons vu dans l'étude des trajectoires, on peut conclure que ces villes ont suivi une trajectoire générale sur la longue durée de dégradation de la qualité de leurs milieux aquatiques

suivie par une amélioration ces dernières décennies, marquée par des périodes charnières, des décalages entre impact/détection/réponse. Toutefois, à la lecture de ces schémas, nous pouvons formuler que des différences structurantes demeurent.

La première repose sur le fait que les villes qui se sont dotées d'un système d'épuration des rejets efficaces sont celles où la ressource en eau locale a été dégradée en partie par leurs propres rejets, ce qui les a contraintes à agir pour limiter l'impact de leurs rejets et protéger leur ressource. Cela correspond au cas de l'agglomération berlinoise, qui a été contrainte de limiter ses impacts sur la rivière, soit de crainte des protestations des villes en aval (comme Charlottensburg à la fin du XIX^e siècle) soit parce qu'elle subissait elle-même les rejets de l'amont (abandon de la prise d'eau de Stralauer Tor en 1893; pollution de Berlin Est lors de la séparation). Cela permet aussi de comprendre la coopération entre la Ville de Paris et les communes de sa proche couronne au début du XX^e siècle pour traiter les eaux usées à l'amont de la ville où se trouvaient les prises d'eau pour Paris, coopération que l'on ne retrouve pas pour la distribution d'eau potable, Paris conservant pour elle l'eau issue des sources lointaines, amenées par aqueduc, et laissant les communes de banlieue gérer chacune leur approvisionnement.

En revanche, la Ville de Paris a ignoré tant qu'elle a pu les protestations des communes en aval suite aux rejets d'eau usée non traités et au fonctionnement insuffisant de ses dispositifs de traitement pendant des décennies (épandage puis station d'épuration).

Une seconde différence importante est que la gestion de l'eau et de l'assainissement a été plus efficace quand les services des villes ont pu avoir une gestion à l'échelle de leur fonctionnement (point de prélèvement / point de rejet) et suffisamment souple pour pouvoir s'adapter à la croissance de l'urbanisation (plutôt décentralisée que centralisée). On retrouve alors le cas de l'agglomération berlinoise, dont le petit cycle de l'eau fonctionne en boucle, l'eau usée étant remontée sur les hauteurs de la ville pour y être traitée et allant en partie réalimenter les nappes et eaux de surface mobilisées pour produire de l'eau potable (ce qui amène les services techniques berlinois à dire que les Berlinoises boivent leurs eaux usées!). Ce système d'assainissement a été facilité par l'intégration de la gestion de l'eau et de l'assainissement dans un seul service à l'échelle de l'agglomération.

Finalement, même si les quatre villes ont vu leur trajectoire se rejoindre sous l'effet de la pression réglementaire nationale et surtout européenne, seules Milan et Berlin ont aujourd'hui des stations d'épuration qui fonctionnent avec des rendements suffisants et une marge de manoeuvre en terme de capacité de traitement, ce qui n'est le cas ni de Bruxelles ni même de Paris.

Interdisciplinarité

La mutualisation des données et l'enrichissement des questions pour chaque discipline

Chaque équipe a fourni un gros effort d'inventaire des données existantes, souvent inconnues des participants, que ce soit pour la mesure de la qualité, l'identification des institutions scientifiques susceptibles de fournir ces données, les travaux et équipements réalisés dans les villes pour traiter la pollution ou protéger la ressource. Ainsi les ichtyologues sont allés interroger les archives pour établir un inventaire des espèces de poissons identifiées en 1896 qui sera en retour utilisable pour estimer la qualité du Lambro à cette époque.

Mais au-delà, nous avons consacré une grande partie du projet à décrire aux autres participants, d'autres champs disciplinaires, l'intérêt de ces données et l'interprétation que son propre champ disciplinaire en faisait. Ce travail a permis aux autres champs disciplinaires de s'approprier ces données, et de les réinterpréter. Cela a permis ainsi aux environnementalistes de se pencher sur des données permettant de décrire la qualité dans le passé et de les réinterpréter avec leur regard

contemporain.

Cette mise en valeur de données anciennes, revues par des scientifiques contemporains, a été le préalable d'une mutualisation entre les disciplines des données produites et de leur interprétation. La comparaison de l'état actuel des milieux aquatiques par rapport à leur situation d'origine a été effectuée soit à partir de ces données anciennes, soit à partir de paramètres reconstitués par modélisation (voir J. Garnier et al., 2012), enfin sur la base d'archives sédimentaires comme pour les métaux (Meybeck et al, 2007 pour le bassin de la Seine).

Cette mutualisation des données et de leur interprétation a permis la reformulation des questions de recherche et de nouvelles questions, ou approches, par rapport aux questions existantes. [...]

Les participants ont pu ainsi formuler des interrogations et de nouvelles pistes de travail à l'interface de leurs différentes disciplines grâce aux échanges dans les séminaires de travail.

Une première interrogation portait sur la prégnance des modèles scientifiques du moment sur les acteurs (comme celui de l'auto épuration des cours d'eau, les vertus du réseau séparatif sur le réseau unitaire, etc.). Quelle était l'autonomie des savants et des techniciens par rapport à ces paradigmes scientifiques? Quel rôle jouaient les mesures effectuées localement par les savants, et quelle utilisation en faisaient les autres acteurs urbains pour décider des actions à entreprendre?

En complément de cette dimension scientifique et de ses effets dans les modifications des trajectoires des villes, quels pouvaient être les effets d'autres facteurs exogènes, comme les progrès techniques, les réglementations appliqués aux territoires en devenir des quatre mégapoles? Nous avons posé cette question au travers:

- des mesures établies aux différentes époques
- de la reconstitution de cet état, soit par la réinterprétation des mesures, soit par la modélisation, soit par de nouvelles mesures (carottes sédimentaires)
- des actions entreprises et l'évaluation de ces actions en termes d'efficacité.

A côté des progrès scientifiques et des évolutions des attentes sociales (en termes de santé, de qualité de vie urbaine à travers la propreté de la voirie, le confort domestique, les loisirs en rivière comme la baignade et la pêche), se posait la question du poids de la technique, et particulièrement des choix techniques dans les trajectoires des villes. Pouvait-on, en s'inspirant des idées des économistes autour de la dépendance par le chemin (path dependence), voir les choix techniques comme des facteurs bloquant les transformations? Une technologie (réseau unitaire, épandage, traitement biologique en station d'épuration) étant adoptée, devenait-elle alors la meilleure, une fois adoptée, parce qu'il est trop coûteux d'en changer, d'où la tendance à un enfermement irréversible (comme celui du « tout-aval » de l'assainissement de l'agglomération parisienne entre 1890 et 1970)? Cela permettait ainsi de considérer les trajectoires des villes en termes de réajustement (ou de bifurcation) plus que de rupture, en considérant que les techniciens faisaient d'abord évoluer les technologies en place, comme les stations d'épuration berlinoises en tête de champ d'épandage dès les années 1919, les stations d'épuration milanaises à l'exutoire des sous bassins de collecte en place depuis la fin des années 1890, voire même les stations parisiennes qui - tout en étant à l'amont de Paris - sont interconnectées via le réseau avec les stations d'aval pour venir les soulager. Il restait cependant à inscrire ces trajectoires techniques dans une trajectoire plus large, comme à Milan où l'orientation économique et agricole de la ville fait de l'épandage en terrain agricole une constante depuis le moyen-âge, qui se perpétue dans le choix en 2005 d'affiner les rejets de la station de Nosedo par ultraviolet pour continuer leur utilisation comme fertilisant agricole.

La dimension politique s'est aussi imposée comme fondamentale, reconnue par les chercheurs de sciences de l'environnement comme par ceux des SHS. C'est encore une fois la ville de Berlin qui guide la réflexion, avec des élus berlinois qui décident à Berlin ouest dès les années 1980 de traiter le

phosphore en station d'épuration puis les rejets par ultra-violet pour conserver une fonctionnalité de récréation assurée par ses lacs (Tegeler et Wann) à sa population enclavée. Le choix est éminemment politique, pour garder les habitants dans la ville, pour une activité traditionnelle de baignade des Berlinois. Seule une partie des effluents de la station de Ruhleben est alors traitée. Après la réunification, le Sénat a décidé de traiter la totalité des effluents, quel qu'en soit le prix.

Cette dimension politique passe par les décisions institutionnelles locales, nationales et européenne (voir le recours grec contre l'État italien au sujet de la pollution milanaise en 2002) et les jeux d'acteurs politiques. Les élus d'un Berlin ouvrier en 1871 (toute capitale d'empire devenue) n'osent pas se confronter aux élus de la prestigieuse ville de Charlottensbourg et décident alors de traiter leurs rejets. Les élus parisiens ont la légitimité et les moyens de payer les dépenses de raccordement des grands collecteurs du département de la Seine à partir de 1910 mais pas celle d'imposer la collecte aux communes (d'où le maintien des rejets directs en Seine jusqu'aux années 1990). Quant au retard d'assainissement de la ville de Bruxelles, il est à chercher dans le passage au fédéralisme et ses difficultés, tout au long des années 1970 et 80. Les services de la région capitale ne sont opérants qu'à partir de 1989, date de la création de la Région de Bruxelles; finalement les 10 années pour prendre en compte les directives européennes entre 1991 et 2000 constituent un laps de temps difficilement compressible pour une grande agglomération, entre la définition du schéma d'assainissement, les cahiers techniques, et la construction et la mise en route de la station.

Nécessité d'une étude sur le temps long

Enfin, il nous semble important de remarquer l'apport des études sur le temps long dans les disciplines environnementales. Le temps long permet déjà de comprendre l'évolution de la relation de la ville avec son environnement, et donc de mettre en perspective l'état actuel observé. La compréhension des interactions entre les composantes du système ville-rivière effectuée sur une fenêtre contemporaine seule conduirait à des interprétations limitées, voire erronées, si l'évolution temporelle n'était pas prise en compte.

Le temps long permet de mettre en perspective le développement des technologies environnementales qui apparaissent dans le temps en relation avec l'évolution des idées sur l'environnement. C'est ainsi que l'on peut comprendre les raisons de l'apparition de nouvelles problématiques, comme la pollution métallique ou la contamination des nappes par des organochlorés.

Nous avons déjà souligné dans l'analyse DPSIR l'importance des héritages structurels et institutionnels qui continuent, pendant des décennies, à modeler le système. On peut regretter que l'on ne puisse finalement pas mener l'analyse DPSIR à son terme, faute de pouvoir faire une analyse économique de l'impact environnemental des situations passées. Mais on a pu constater que la dynamique de l'emprise de ces villes sur leurs milieux aquatiques se mesure sur des dizaines d'années (plutôt 40 ans que 20 ans, donc sur plus d'une génération). C'est avec ce «temps long» que l'on peut décrire l'évolution par palier des perceptions de la qualité, des réponses apportées et le décalage entre réponses et impacts sur la rivière, en fonction de l'intensité de ces réponses. La convergence actuelle observée pour les quatre couples ville-rivière vers un meilleur état de leurs milieux aquatiques montre cependant que la réunion de conditions adéquates financières, sociales et réglementaires appuyée par une volonté politique forte (européenne) permet de tendre vers une dynamique de trajectoire plus durable de la relation ville rivière, même si la pression exercée par ces très grandes villes sur des milieux récepteurs fragiles est très élevée.

Bibliographie

Daumas M. (1991). *Le cheval de César ou le mythe des révolutions techniques*, Editions des Archives Contemporaines, 324p.

Galochet M., Longuépée J., Morel V., Petit O. (2008). *L'environnement. Discours et pratiques interdisciplinaires*. Artois Presses Université.

Garnier et al (2012) *Modeling historical changes in nutrient delivery and water quality of the Zenne River (1790s–2010): The role of land use, waterscape and urban wastewater management*, "Journal of Marine Systems", in press, corrected proof, available online 17 April 2012.

Jollivet M. et Legay J.P. (2005). *Dossier Interdisciplinarité. Canevas pour une réflexion sur une interdisciplinarité entre sciences de la nature et sciences sociales*, "Natures Sciences Sociétés", 13, 184-188.

Lepetit B., Pumain D. (1993). *Temporalités urbaines*, collection Villes, Anthropos, 317p.

Lestel L., Meybeck M., Thévenot D.R. (2007). *Metal contamination budget at the river basin scale: an original Flux-Flow Analysis (F2A) for the Seine River*, "Hydrology and Earth System Sciences", 11, 1771-1781.

Lestel L. (2012) *Non-ferrous metals (Pb, Cu, Zn) needs and city development: the Paris example (1815-2009)*, "Regional Environmental Change", 12 (2), 311-323.

Meybeck M. (2002). *Riverine quality at the Anthropocene: propositions for global space and time analysis, illustrated by the Seine River*, "Aquatic Sciences", 64, 376-393.

Meybeck M., Lestel L., Bonté P., Moilleron R., Colin J.L., Rousselot O., Hervé D., de Pontevès C.,

Grosbois C., Thevenot D.R. (2007). *Historical perspective of heavy metals contamination (Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn) in the Seine River basin (France), following a DPSIR approach (1950-2005)*, "Science of the total environment", 375: 203-231.

Tomas F. (2003). *La temporalité des villes*, Publications de l'université de Saint-Etienne, 219 p.

[27 gennaio 2014]