



INDISCIPLINES

Les rivières urbaines et leur pollution

Laurence Lestel, Catherine Carré, coordinatrices

Les rivières urbaines et leur pollution



INDISCIPLINES

Les rivières urbaines et leur pollution

Laurence Lestel, Catherine Carré
Coordinatrices

éditions
Quæ

La collection « Indisciplines » fondée par Jean-Marie Legay dans le cadre de l'association « Natures Sciences Sociétés-Dialogues » est aujourd'hui dirigée par Marianne Cohen. Dans la même orientation interdisciplinaire que la revue *NSS*, cette collection entend traiter des rapports que, consciemment ou non, les sociétés entretiennent avec leur environnement naturel et transformé à travers des relations directes, des représentations ou des usages. Elle mobilise les sciences de la terre, de la vie, de la société, des ingénieurs et toutes les démarches de recherche, éthique comprise. Elle s'intéresse tout particulièrement aux questions environnementales qui interpellent nos sociétés aujourd'hui, qu'elles soient abordées dans leur globalité ou analysées dans leurs dimensions les plus locales.

Le comité éditorial examinera avec attention toutes les propositions d'auteurs ou de collectifs qui ont adopté une démarche interdisciplinaire pour traiter de la complexité.

Sommaire

Remerciements	7
Chapitre 1. Comment des métropoles ont sacrifié leurs rivières	9
Berlin, Bruxelles, Milan, Paris : des développements métropolitains sous contraintes hydrologiques fortes	9
La qualité de l'eau, clé de lecture des relations entre les métropoles et leurs rivières ..	11
Quatre équipes pluridisciplinaires pour décrire et comparer les couples ville-rivière ..	12
Quatre métropoles : quatre trajectoires de qualité	17
Références	19
Chapitre 2. Paris et la Seine : l'impossible équipement d'une agglomération	23
La Seine au service de Paris et de sa banlieue	23
La Seine sous surveillance : les analyses des impacts de l'agglomération parisienne par l'observatoire de Montsouris de 1876 à 1937	32
Assainir la banlieue de Paris : des fosses septiques au tout-à-l'égout, quels effets sur la qualité de l'eau de la Seine ?	43
Baignade urbaine dans la Seine et la Marne : un indicateur de qualité des cours d'eau ? ...	61
Références	75
Chapitre 3. Berlin et la Spree : la promotion politique d'un cycle vertueux	79
Évolution du bassin de la Spree sous l'influence de Berlin, de ses habitants et de leurs activités	79
Comment les pressions et les pollutions de la Spree ont été comprises et quelles réponses ont été apportées	86
Les conséquences de la pollution de la Spree : la surveillance administrative de ses usages et de sa qualité	95
Références	116
Chapitre 4. Milan, sa nappe et le Lambro : la quantité au détriment de la qualité ..	123
Milan dans son système hydrographique : un lien fort	123
Hydroclimatologie, les eaux souterraines et l'impact de l'urbanisation sur la qualité de la nappe phréatique	135
L'impact de la ville de Milan sur la qualité des eaux superficielles	149
Eau salubre, sol non pollué et air pur. Acteurs et institutions de la qualité de l'eau de la nappe phréatique	160
Références	168

Chapitre 5. Bruxelles et la Senne : une rivière sacrifiée sans regret	173
Les eaux de Bruxelles, systèmes et dépendances	173
La gestion des eaux usées en Belgique et le sort de la Senne à Bruxelles depuis 1945...	189
Les changements de gestion des eaux usées domestiques et industrielles dans le bassin de la Senne : impacts sur la qualité des eaux	207
Références	221
Chapitre 6. Intercomparaison : des rivières sous contrôle, mais en quel état ?	229
Un exemple de trajectoire environnementale : la contamination métallique de la Seine, la Spree, la Senne et le Lambro (1950-2010).....	229
Réponse des peuplements de poissons à l’urbanisation et aux altérations anthropiques à long terme des cours d’eau.	242
Divergences et convergences d’une gestion métropolitaine du cycle urbain de l’eau ..	252
Pour conclure : les trajectoires de qualité des eaux des métropoles européennes	268
Références	275
Liste des auteurs	281

Remerciements

Ce livre est l'aboutissement d'un projet de recherches financé par le programme interdisciplinaire PIRVE Ville (projet 2763, 2010-2013).

Cette édition a bénéficié du concours de l'ANR Société et changements environnementaux <12-SENV-009>.

Nous remercions Aurélien Baro de l'UMR Metis 7619 pour la production d'une grande partie des cartes de cet ouvrage.

Chapitre 1

Comment des métropoles ont sacrifié leurs rivières

Laurence Lestel, Catherine Carré, Michel Meybeck

La relation d'une très grande ville à son cours d'eau s'avère aujourd'hui une des dimensions de sa capacité à s'inscrire dans une gestion durable (Haberl *et al.*, 2011 ; Lorrain et Poupeau, 2014). Elle renvoie avant tout aux risques d'inondation, de disponibilité et de qualité des eaux pour répondre aux besoins des habitants, ainsi qu'aux enjeux de conservation des fonctionnalités des milieux aquatiques. Ces questions se posent d'abord à des échelles locales et régionales ; elles dépendent de l'importance que les sociétés urbaines leur reconnaissent et de l'évolution de leurs modes d'habiter avec leurs rivières (Mathieu, 2014). En l'espace de deux siècles, les rivières des villes européennes sont passées du statut d'exutoire de tous les rejets à celui d'un milieu vivant à intégrer à la ville. Parmi les clés de ce changement, retenons : l'appréciation de la qualité de l'eau et des cours d'eau ; l'aptitude des sociétés urbaines à comprendre les pressions exercées sur leurs cours d'eau et l'efficacité des réponses apportées pour remédier à leur changement d'état. Comprendre ces ruptures et ces changements nécessite un regard interdisciplinaire, entre milieu, technique et société. C'est ce regard que nous avons mis en œuvre pour rendre compte des relations de quatre villes européennes avec leur cours d'eau et leurs transformations depuis le XIX^e siècle.

BERLIN, BRUXELLES, MILAN, PARIS : DES DÉVELOPPEMENTS MÉTROPOLITAINS SOUS CONTRAINTES HYDROLOGIQUES FORTES

Rappelons que l'absence d'un cours d'eau n'est pas un facteur qui limite le développement des villes. Il ne l'est qu'à la marge, les sociétés urbaines s'étant donné les moyens techniques de s'approvisionner grâce à des aqueducs ; quant à la capacité du milieu récepteur à diluer les rejets d'eaux usées d'une ville, elle n'est jamais une contrainte. Ainsi, certaines grandes villes européennes se sont développées sur des rivières avec de très petits débits. C'est le cas de Berlin et la Spree, Bruxelles et la Senne, Milan et le Lambro qui sont comparés à Paris et la Seine dans cet ouvrage. Ces situations très contraintes offrent les meilleures perspectives pour apprécier les difficultés que rencontrent les sociétés urbaines pour préserver les fonctionnalités de leurs rivières et les façons dont elles y remédient.

La croissance de ces quatre villes européennes a suivi un certain nombre de caractéristiques communes, tant dans les modalités territoriales de leur urbanisation que dans celles de leur équipement en services. L'urbanisation a provoqué une interdépendance des communes, dans une tension entre la ville-centre et les localités périphériques, la domination de la commune centre n'étant pas systématiquement la règle, comme le montre le rapport de force au début du xx^e siècle entre Bruxelles et le syndicat intercommunal d'alimentation en eau de sa banlieue, ou encore l'impossibilité d'une ville ouvrière comme Berlin d'imposer ses eaux sales non traitées à Charlottenburg. Les acteurs nationaux ont aussi pu faire pression pour contenir le pouvoir de ces métropoles, à l'instar de Paris qui s'est vu interdire toute coopération intercommunale avant 1932.

10

Dès le xix^e siècle, ces villes ont développé des services d'eau et d'assainissement s'appuyant sur des connaissances scientifiques communes, favorisées par des publications qui circulent aisément entre ces grandes capitales, et par les premiers voyages d'études des édiles urbains à la fin du xix^e siècle (Frioux, 2013). Des solutions techniques semblables sont alors implantées dans ces villes : passage d'un assainissement individuel à un assainissement collectif ; traitement chimique de l'eau pour la potabilisation, traitement des effluents en champ d'épandage, puis en station d'épuration à partir du xx^e siècle. La gestion de ces services est généralement locale et publique, à l'échelle municipale, ces villes ayant les moyens de mettre en place des services techniques compétents et souvent innovants. Les pratiques urbaines de la rivière et les usages de l'eau ont suivi les mêmes évolutions : une pratique de la baignade en rivière à la fin du xix^e siècle, puis sa lente disparition dans la première moitié du xx^e siècle (sauf à Berlin mais pour des raisons autant politiques que culturelles), la disparition progressive de la pêche professionnelle en ville après la Seconde Guerre mondiale. Le regard des habitants sur la rivière a lui aussi changé, passant d'une approche utilitariste du cours d'eau à la prise en considération du milieu, allant de pair avec une diminution des usages économiques, en particulier du transport fluvial (Carré, 2013).

L'idée de cet ouvrage est venue d'une volonté de comparer l'évolution de la relation entre Paris et la Seine avec celles d'autres métropoles européennes. Il fallait cependant que ces métropoles remplissent un certain nombre de conditions, autres que celles d'avoir connu une forte croissance démographique. D'abord, elles devaient être soumises à des contraintes similaires de charge polluante sur le milieu, à travers le rapport population/débit (voir tableau 1-1). Ensuite, il fallait pouvoir apprécier les effets des modes de vie urbains et les altérations d'un milieu physique équivalent. Cela nous a conduits à éliminer des villes dont l'état du cours d'eau dépend d'influences multiples, notamment les villes situées sur des estuaires ou soumises à l'influence des marées, telles Londres ou Rotterdam, ou celles traversées par des cours d'eau à débit important, comme Lyon ou Vienne. Avec toutefois des différences notables d'un point de vue physique entre les quatre villes retenues : à

Milan, au début de la période, la commune n'était pas traversée par un cours d'eau, ce n'est qu'avec l'urbanisation que les rivières périphériques ont été progressivement intégrées dans le tissu urbain ; et à Berlin, une partie de la ressource en eau et des loisirs de baignade est assurée par trois grands lacs naturels. Enfin, il fallait disposer d'archives pour reconstituer l'état de la rivière à travers les prélèvements, leurs analyses et les décisions prises au regard des constats établis.

Tableau 1-1. **Données quantitatives pour les quatre villes et leurs cours d'eau (1850-2010).**

	Superficie du bassin versant (km ²)	Débit moyen annuel en 2010 (m ³ /s)	Population communale vers 1850 (million d'habitants)	Population de l'agglomération en 2010 (million d'habitants)	Quantité d'eau disponible en 2010 (L/jour/hab.)
Seine Paris	65 000	280 (Paris Austerlitz)	1,23	10	2 419
Spreew Berlin	10 105	37 (Berlin-Ouest)	0,5	3,5	913
Lambro Milan	2 747	79 (Milan-Sud)	0,27	4,2	1 625
Senne Bruxelles	1 160	8 (Bruxelles-Nord)	0,13	1,3	532

LA QUALITÉ DE L'EAU, CLÉ DE LECTURE DES RELATIONS ENTRE LES MÉTROPOLIS ET LEURS RIVIÈRES

Choisir d'étudier la relation des citoyens avec leur cours d'eau n'est pas une chose aisée car cela impose de se donner les moyens d'étudier les interactions entre les sociétés et les milieux, entre les composantes des systèmes physiques et sociaux. Le projet est d'autant plus ardu si l'on souhaite faire cette étude sur la longue durée. Celle-ci s'avère nécessaire, car l'urbanisation (une population multipliée par dix depuis les années 1850) et l'industrialisation conjointe des métropoles européennes ont provoqué des pressions telles sur leurs rivières qu'elles en ont modifié le fonctionnement, et ce parfois, de façon irréversible. La nécessaire régulation des niveaux et des débits a entraîné l'artificialisation ou l'approfondissement du lit fluvial ; la variété des rejets (domestiques, industriels, des hôpitaux, etc.) a provoqué une altération de l'état de l'eau et des milieux (hypoxie, augmentation de la matière organique, contamination métallique).

C'est ce regard de la société sur ces dégradations et les pertes de fonctionnalité qui en résultent que nous interrogeons ici, au travers des trois dimensions suivantes : l'état du cours d'eau et les pertes d'usages, les décisions prises par les acteurs institutionnels pour répondre aux besoins des habitants, et les moyens retenus. Le regard est double : celui que les sociétés portaient sur ces altérations et l'évaluation que nous en faisons aujourd'hui grâce aux grilles de qualité contemporaines, comme

celle de la directive-cadre européenne sur l'eau (DCE, 2000/60/CE). Ce choix paraissait d'autant plus pertinent que si les relations ville-rivières ont souvent été abordées au travers des différents usages de l'eau en ville (Goubert, 1986 ; Frioux, 2013), du système sociotechnique assurant l'approvisionnement en eau, l'évacuation des eaux usées et le transport (Bernhardt, 2004 ; Heynen *et al.*, 2006 ; Mauch et Zeller, 2008 ; Dagenais, 2011 ; Douglas, 2013 ; Carré et Deutsch, 2015), la qualité de l'eau, sa construction sociale reste une dimension encore peu abordée. La qualité est abondamment décrite dans la littérature mais sa mise en relation avec les pressions exercées par les activités humaines, notamment celle des très grandes villes ou métropoles, est rarement analysée sur les deux derniers siècles (Castonguay et Evenden, 2012). L'étude remarquable de l'impact actuel de la ville d'Atlanta sur ses rivières menées par l'US Geological Survey est très complète, elle prend en compte notamment beaucoup de micropolluants mais elle ne considère pas du tout l'évolution conjointe de la ville et de ses eaux (<http://ga.water.usgs.gov>). Des études de l'évolution de bassins fluviaux tels ceux du Rhin (Van der Weijden et Middelburg, 1989 ; Cioc, 2002), de la Tamise (Schwartz *et al.*, 1990), de la Moscowa (Chernogaeva, 1998), de la Moselle (Garcier, 2007) ont déjà été réalisées. Toutefois, ces études ne sont pas toujours à même de décrire vraiment les mécanismes reliant la qualité du fleuve avec sa ville : les implantations urbaines sur le Rhin sont trop nombreuses, la Tamise à Londres est trop influencée par les processus estuariens et l'étude de la Moscowa à Moscou ne porte que sur un nombre restreint de problèmes de qualité des eaux. On peut cependant citer comme travaux ceux de l'impact de Manchester sur la Mersey (Burton, 2003) et ceux de Paris sur la Seine, menés au sein du programme de recherches Piren-Seine depuis 25 ans, auxquels ont participé une partie des chercheurs de cet ouvrage.

QUATRE ÉQUIPES PLURIDISCIPLINAIRES POUR DÉCRIRE ET COMPARER LES COUPLES VILLE-RIVIÈRE

Les chercheurs du Piren-Seine travaillaient depuis les années 1990 sur les pressions exercées par Paris sur la Seine, à l'échelle de son bassin avec une approche sur la longue durée (Meybeck *et al.*, 1998 ; Billen *et al.*, 2007). Trois équipes, berlinoise, bruxelloise et milanaise, ont répondu à l'appel de chercheurs parisiens pour étudier les couples ville-rivière de ces métropoles. Les trajectoires de qualité pour de si petits cours d'eau font de ce livre une histoire comparée, en Europe, des usages urbains et des pressions exercées, de leurs conséquences sur l'état de l'eau et des milieux, et des réponses apportées.

La constitution des quatre équipes s'est faite dans des contextes de recherche très différents.

Le programme Piren-Seine à ses débuts en 1989 réunissait des chercheurs en sciences de l'environnement pour étudier le fonctionnement hydro-biochimique de la Seine en aval de Paris, progressivement étendu à l'ensemble de son bassin versant.

Dans ce programme se sont rajoutés des ichtyologues, des historiens, des géographes et des politistes (Mouchel et Billen, 2008-2015). Ils souhaitaient développer l'analyse des réponses des sociétés en complément de la connaissance de l'état de la Seine, des impacts et des pressions exercés depuis la fin du XIX^e siècle.

À Milan, l'équipe de chercheurs associait des historiens, des hydrologues, des biochimistes, des ichtyologues, soucieux de la dégradation de la qualité de l'eau du Lambro. Soutenus par les autorités régionales, ils portaient principalement leur attention sur la compréhension des pressions et des réponses des édiles milanais, et plus largement à l'échelle de l'ensemble du bassin du Lambro.

À Berlin, l'équipe se réduisait à une seule personne ayant accès à d'importantes archives qu'elle souhaitait exploiter dans un travail de thèse (Winklhöfer, 2015). Elle disposait également de contacts avec les services techniques du sénat berlinois qui ont permis de retracer les choix politiques et techniques des services d'eau et d'assainissement de Berlin-Ouest et Berlin-Est depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale.

À Bruxelles, une des motivations des chercheurs était alimentée par une préoccupation citoyenne sur la gestion du service public, les relations avec les exploitants privés de la station d'épuration de Bruxelles-Nord, et la place à donner à l'eau et aux milieux aquatiques dans la ville. L'analyse conjointe des historiens et des biochimistes du cycle urbain de l'eau, des pressions et des réponses devait permettre d'éclairer ces préoccupations.

Il paraissait stimulant de bénéficier d'une lecture conjointe des chercheurs de sciences de l'environnement et de sciences humaines et sociales pour étudier les effets de l'urbanisation et de l'industrialisation de ces villes sur leur cours d'eau depuis le milieu du XIX^e siècle. Pour permettre un travail comparatif entre les villes, obtenir des informations comparables qui n'existaient pas (du moins pas sous cette forme), dégager des typologies (d'usages de l'eau, de pratiques des cours d'eau, de modes de gestion des services urbains) et des variables explicatives, il convenait de se doter de cadres conceptuels pour saisir, dans le temps et dans l'espace, les interactions entre les très grandes villes et leurs cours d'eau sur le long terme.

Un modèle graphique pour porter un même regard sur les cycles de l'eau des métropoles

Saisir les tendances majeures de l'évolution des pressions exercées par les métropoles sur leurs cours d'eau et des réponses pour les corriger consiste à donner du sens aux changements identifiables, soit dans l'état du milieu, soit dans les actions entreprises. Une première étape passait par la reconstitution des cycles de l'eau des villes à travers les prélèvements et les rejets des habitants et de leurs activités, à l'échelle des bassins versants. Les limites spatiales des villes ont été reconsidérées au fur et à mesure que les agglomérations s'étendaient. Les études n'ont donc pas été menées à périmètre fixe. Parallèlement, cet essor urbain a souvent été accompagné d'une

externalisation de la gestion de la ressource sur les territoires environnant la métropole, leur imposant ses prélèvements et ses rejets. Le cycle urbain de l'eau nous renvoie donc au bassin versant entier : il constitue le premier objet à analyser pour comprendre la relation entre les sociétés urbaines et l'eau.

Le passage par la construction d'un modèle spatial est nécessaire pour produire un cadre d'interprétation générique du fonctionnement des services d'eau et d'assainissement des villes. Les objectifs de ce schéma (planche I-1 du cahier couleur) sont de décrire le couple ville-cours d'eau pour :

- mettre en relation les sources d'approvisionnement en eau de la ville, leurs bassins de prélèvement, avec les points de rejets des eaux usées et leurs effets sur le bassin versant servant d'exutoire. Les bassins et sous-bassins versants sont donc délimités pour montrer cette concordance (ou non) entre zone de prélèvement et de rejet ;

- montrer l'impact de la ville sur les milieux aquatiques récepteurs, et ce jusqu'à la mer. Ce deuxième point est basé sur des descriptions qualitatives du milieu.

La ville est schématisée tout d'abord par deux entités : un cœur urbain très dense et une banlieue moins dense.

Le milieu aquatique est organisé autour d'un axe fluvial orienté d'amont vers l'aval, dont le bassin versant hydrographique naturel est bien délimité. Les eaux de surface naturelles (rivières, lacs) sont représentées dans le modèle, alors que les eaux souterraines ne sont figurées que dans la mesure où elles servent d'approvisionnement pour la production d'eau potable. Le bassin versant est fermé sur l'exutoire de la rivière qui aboutit à un milieu récepteur plus important (fleuve, estuaire). Pour un couple ville-cours d'eau donné, les limites naturelles du bassin versant dans son ensemble restent en général invariables.

Les modes d'approvisionnement en eau peuvent être variés : une prise d'eau sur le cours d'eau, une prise d'eau dans un lac, une source captée et amenée par aqueduc, un ensemble de puits et de captages dans la nappe, un barrage-réservoir assurant la lutte contre les inondations et le soutien d'étiage. Les ouvrages modifiant le cours d'eau et son régime hydrologique incluent les barrages-réservoirs, les canaux, les couvertures de rivière, les déversoirs d'eaux usées, les stations d'épuration, les drains de sortie d'épandage agricole, les installations dans le milieu aquatique pour en améliorer la qualité tels que les injecteurs d'oxygène. La qualité des cours d'eau est codée à trois niveaux : bonne, médiocre et très dégradée. Les lacs eutrophisés sont aussi signalés ainsi que les entrées de pollution des nappes souterraines.

Une interdisciplinarité revendiquée

Les quatre équipes se sont construites avec le même panachage de disciplines — hydrologie, biogéochimie, ichtyologie, histoire, géographie — chaque discipline pouvant interroger les données disponibles avec ses questions propres, son regard fournissant alors pour chaque ville un chapitre thématique autour du cycle urbain de l'eau : l'identification des usages des rivières, la connaissance et la

surveillance des pollutions urbaines et les actions entreprises pour restaurer la qualité de l'eau et des milieux. Cependant aucune des disciplines prises séparément ne nous semblait en mesure de reconstruire l'ensemble des relations intégrant l'état de la rivière, les pressions et les réponses. L'histoire n'a pas pour objet central la rivière mais les hommes en relation avec elle. De plus, les historiens éprouvent des réticences à utiliser d'autres sources que les sources écrites. Or une partie de nos données vient de l'analyse de carottes sédimentaires, pour reconstruire de 30 à 100 ans d'évolution de la pollution des cours d'eau (ici la pollution métallique étudiée par les géochimistes), et de la modélisation, pour reconstruire la qualité des eaux, notamment vis-à-vis des nutriments et de la charge bactériologique. La géographie s'attache aux relations entre les sociétés et les milieux aquatiques, mais ne fera pas les bilans biogéochimiques de la rivière. Les sciences de l'environnement ne sont pas habituées à travailler sur le temps long ni à investir la société humaine.

Plus fondamentalement, pour analyser la relation entre la métropole et la rivière, en ayant à cœur d'embrasser les interactions physiques et sociétales, il s'agissait de vérifier que nous identifions de façon assez précise et collectivement ces interactions. 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. Nous avons pour cela utilisé le cadre conceptuel du DPSIR (*drivers/pressions/état/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. Nous avons retenu les éléments suivants du DPSIR :

- *drivers* ou forces motrices, c'est-à-dire des facteurs de contrôle du système environnemental, comme la démographie, les activités économiques, le commerce, les cours mondiaux, mais aussi des événements politiques ou des conflits ;

- pressions, celles exercées sur le milieu naturel, tels les rejets ponctuels ou diffus, l'utilisation volontaire d'intrants chimiques, la modification physique des sols, des cours d'eau ou de la couverture végétale ;

- état du milieu, caractérisé par un ensemble de paramètres physiques, chimiques, écologiques, résultant d'une surveillance appropriée aux problèmes pressentis ;

- impacts, c'est-à-dire les effets de la dégradation du milieu sur la santé humaine ou animale, sur son équilibre, sur son utilisation économique par la société. Depuis une dizaine d'années les « fonctionnalités » du milieu sont également prises en compte, telles que la régulation du climat, la régulation hydrique, le support de vie (*life-support*) fournisseur de biodiversité ou les services écosystémiques ;

- réponses, qui peuvent être sociales (modes de consommation et d'usages, controverses autour de la qualité de l'eau et des milieux, mobilisations et actions individuelles et collectives), techniques (depuis les protocoles de mesures jusqu'aux

équipements, les usines de traitement mises en place) et réglementaires (les décrets et normes associées), visant à réduire ou à éliminer les impacts et à préserver les fonctionnalités des cours d'eau.

Ce modèle — quelles que soient ses nombreuses limites (Svarstad, 2008) — est le seul modèle identifiant des interactions à travers les couples qu'il propose : état/réponse, état/impacts/pressions, pression/réponse... Chaque chercheur a étudié des couples particuliers d'interaction selon les questions de sa discipline : l'historien a privilégié le lien entre *drivers* (augmentation de la population, des productions industrielles) et réponses apportées à des impacts (couverture de la Seine, obligation de collecte des eaux usées). Le géochimiste a apporté sa connaissance de l'état physico-chimique de la rivière, actuel et passé, grâce à l'analyse de carottes sédimentaires. Le géographe a privilégié les dimensions spatiales des pressions et des réponses (localisation des champs captants et des champs d'épandage, puis des stations d'épuration). L'ichtyologue a fait le lien entre l'état de la rivière et l'impact sur les populations piscicoles : artificialisation des berges et disparition des habitats, anoxie et mort des poissons. Ces exemples font apparaître un clivage assez marqué entre les chercheurs des sciences de l'environnement, qui se focalisent sur l'état des rivières (avec ou sans présence d'hommes), et ceux des sciences humaines et sociales davantage attentifs aux pressions et aux réponses, écartant généralement de leur analyse l'étude des processus physiques pour eux-mêmes, car sans hommes ; clivage que nous avons essayé d'aplanir par notre approche interdisciplinaire.

Il s'agissait alors de fournir des thématiques communes qui unissent les différents compartiments du DPSIR et qui permettent de dépasser les spécialisations disciplinaires.

Le premier thème de la pollution métallique a lié l'évolution de l'état des cours d'eau aux normes qui permettent de l'évaluer et aux pressions résultant des effets conjoints de l'urbanisation et de l'industrialisation des métropoles européennes. Dans cet objectif, nous avons demandé aux historiens et aux géochimistes de retracer la trajectoire de ces pollutions sur le temps long en interprétant ensemble les résultats de carottages sédimentaires.

Le deuxième thème traitant de l'évolution des populations piscicoles présentes dans les cours d'eau a servi de traceur de la dégradation des milieux aquatiques depuis le XIX^e siècle. Il a nécessité la coopération entre historiens et ichtyologues qui ont travaillé ensemble dans les archives pour identifier les espèces et leur devenir.

Enfin, la comparaison des modes de gestion dans les quatre villes a retracé les choix d'équipements au regard des attentes sociales et questionné leur efficacité en termes d'amélioration de la qualité des cours d'eau grâce à la confrontation par le géographe des décisions prises par les édiles des métropoles avec l'analyse de la qualité physico-chimique de l'eau faite par les géochimistes et la qualité biologique des milieux décrite par les ichtyologues.

QUATRE MÉTROPOLIS : QUATRE TRAJECTOIRES DE QUALITÉ

Les couples ville-rivière que nous avons choisis réunissent donc trois conditions rares :

- un développement urbain continu, évolutif et diversifié ;
- un milieu récepteur structurellement fragile ;
- une surveillance de la qualité du milieu aquatique très ancienne, régulière depuis 130 ans pour les plus anciens paramètres (température, dureté de l'eau, oxygène dissous).

Ces couples invitent à répondre aux questions suivantes : comment l'essor de ces villes, l'importance des pressions sur l'eau et les milieux, ont-ils été rendus compatibles avec une disponibilité en eau limitée ? Quelles réponses ont été apportées localement, au fur et à mesure des évolutions techniques et scientifiques, des types de connaissance et de surveillance de la qualité de l'eau et des milieux, et des choix opérés par les dirigeants, tant pour les prélèvements que pour les rejets ?

Quatre cycles urbains de l'eau

Ces questions sont traitées dans les monographies propres aux quatre villes.

Pour la métropole parisienne, nous avons d'emblée décidé de nous focaliser sur la banlieue dont le cycle de l'eau était beaucoup moins connu que celui de Paris, déjà largement étudié. Nous avons ainsi décrit l'approvisionnement en eau de la banlieue et ses réseaux d'assainissement. Les données recueillies ont permis de modéliser l'impact des rejets de la banlieue sur la qualité de l'eau de la Seine depuis la fin du XIX^e siècle et d'exploiter les très nombreux documents des laboratoires de l'observatoire de Montsouris pour décrire la connaissance qu'avaient ces scientifiques de la dégradation de l'état de la rivière, tant en amont qu'en aval de Paris. La perception de la qualité a été recherchée au travers des pratiques de baignade en rivière.

À Berlin, les travaux ont porté d'une part sur la Spree, d'autre part sur le cycle de l'eau berlinois. Nous avons également effectué un travail de recherche sur les institutions en charge de la surveillance administrative de la Spree. La comparaison de la gestion des eaux de Berlin avec celle de Paris était particulièrement intéressante, dans la mesure où, si Berlin ne manquait pas d'eau prélevée en amont ou dans sa nappe phréatique, pour le traitement de ses eaux usées les deux villes ont parallèlement expérimenté les solutions d'épandage puis de station d'épuration avec, cependant, des différences temporelles significatives.

Milan a également développé son approvisionnement en eau à partir de ses nappes phréatiques. Des institutions de surveillance, d'abord municipales puis étatiques, ont permis un contrôle de la qualité des eaux souterraines. Malgré une gestion très précoce de ses eaux usées par le système des marécages datant du Moyen-Âge, la ville n'a pas pris le tournant de la modernisation de la gestion des eaux usées de la fin du XIX^e siècle et n'a inauguré sa première station d'épuration qu'en 2003. L'impact de la pression anthropique sur le Lambro a été reconstitué

grâce à des mesures anciennes de qualité de l'eau et l'évolution des peuplements de poissons.

Pour Bruxelles, dont l'évolution de l'approvisionnement en eau était déjà connue, nous avons essentiellement cherché à comprendre les raisons d'un retard considérable dans le traitement des eaux usées de la ville, la première station d'épuration étant mise en route seulement en 2000. Les conséquences de cet état de fait sur la qualité de l'eau de la Senne ont également été décrites.

Le modèle graphique a été mobilisé pour établir des comparaisons entre les quatre villes (planches couleurs I-2 et I-3). Il a été construit avec quatre critères de comparaison : la gestion de l'eau potable, la gestion des eaux usées, l'organisation des services de gestion des eaux et, enfin, l'efficacité des actions menées vis-à-vis de la qualité des milieux, en nous aidant des monographies propres à chacune des villes.

18

La nécessité de recourir à une approche diachronique tient compte de la critique faite par certains chercheurs (Goeldner *et al.*, 2015) de ce que l'analyse synchronique fige la comparaison à un moment, sans retenir les trajectoires propres aux différents objets étudiés. L'utilisation du modèle spatial des couples ville-cours d'eau, combinant l'étude des similitudes et des particularités, a permis de comparer les effets spatiaux et territoriaux des modes de gestion urbains de l'eau et de l'assainissement. Les différents sites métropolitains comportent des spécificités notables qui concernent à la fois le système d'assainissement et sa construction au cours du temps, les ressources utilisées pour l'alimentation en eau et leur mode d'exploitation, l'utilisation actuelle et historique de la rivière (navigation, industrie, loisir...). Aussi, pour les schémas propres aux quatre couples ville-rivière étudiés, les dates des schémas ne sont pas forcément identiques mais choisies en fonction d'une période charnière, soit dans le mode d'approvisionnement en eau, soit dans la variation des rejets et des traitements, soit dans l'aménagement du cours d'eau.

Par-delà les spécificités : quels enseignements tirer ?

Tout en tenant compte des spécificités propres à chaque cas, il s'agit cependant de trouver des explications qui ne soient pas limitées aux seuls territoires observés ; sortir d'un certain « tropisme territorial » qui accorde au territoire une vertu explicative en soi, fournissant des explications attachées au territoire étudié, pour proposer des critères objectivables qui puissent être transposés, réutilisés pour d'autres terrains (Gueranger, 2012). Par rapport au contenu factuel d'une évolution temporelle, la notion de trajectoire comprend une interprétation des éléments sélectionnés pour répondre à la question posée. L'objectif est ici de rendre compte des processus et des facteurs qui déclenchent et/ou déterminent un type de trajectoire plutôt qu'un autre, parmi les possibles réponses aux obligations réglementaires comme aux attentes des sociétés locales.

L'analyse des carottes sédimentaires est une technique déjà utilisée pour décrire un siècle de contamination de la Seine (Le Cloarec *et al.*, 2011 ; Tamtam *et al.*, 2011).