

Introduction générale

Jean-Marie Mouchel

UMR Sisyphe, UPMC, 4 place Jussieu, 75005 PARIS

Nos rapports de l'année 2010 marquent la fin de la 5^{ième} phase du programme PIREN-Seine (2007-2010). Pour la plupart des thématiques portées par le programme, cette fin de phase a été l'occasion de produire des synthèses des travaux réalisés au cours des 4 années. Elles sont présentées dans les rapports rassemblés dans ce document. Comme dans n'importe quel domaine de recherche nos travaux sont une constante progression, et il est toujours difficile voire excessivement ambitieux de prétendre produire un bilan définitif dans quelque domaine que ce soit. Ces rapports sont la marque notre progression. Nous sommes convaincus que le niveau de synthèse, ou les éléments nouveaux qui ressortent déjà pour certains sujets moins avancés que d'autres, seront des éléments de réflexion utiles pour l'avenir du bassin de la Seine. Ils permettent aux chercheurs du programme de s'investir comme experts auprès de nombreuses instances au sein du bassin.

Le point de vue du PIREN-Seine est de s'intéresser aux relations multiformes qui existent entre les habitants du bassin de la Seine et le territoire qu'ils occupent. Pour un hydrologue, le bassin de la Seine est d'abord le « bassin versant » du cours d'eau, il inclut toute la superficie drainée par cette rivière, tout le territoire sur lequel toutes les gouttes d'eau de pluie reçue finissent par atteindre l'exutoire de la Seine dans la Manche, à moins qu'elles ne soient évaporées en route. Défini au départ à partir de la carte des écoulements de surface, le « bassin de la Seine » soit être étendu à tous les réservoirs souterrains par lesquels transite l'eau qui finit par rejoindre les rivières du bassin après des séjours de plusieurs dizaines d'années parfois. Pour le géologue, le bassin hydrologique de la Seine doit être étendu au « bassin parisien », une grande région géologique sédimentaire qui s'étend du Massif Armoricaïn aux Vosges, et déborde vers le Nord-Est au delà des frontières nationales. Mais le « bassin parisien » est aussi une entité qui peut être appréhendée du point de vue de la géographie économique où le rôle central de Paris puis de l'agglomération parisienne peut-être mis en lumière au cours des siècles. Aujourd'hui encore, le « bassin parisien » continue d'être une ressource majeure pour le développement économique de l'agglomération parisienne (ressources minérales, agricoles, tissu économique et industriel...). A l'intérieur du « bassin parisien », le « bassin de la Seine » représenté par ses axes hydrauliques, rivières et fleuve, ses ressources en eau, mais aussi par les sols qui remplissent de nombreuses fonctions demeure un élément structurel incontournable à la fois d'un point de vue biogéochimique et d'un point de vue économique. Il a joué un rôle majeur dans le développement de la capitale et continue d'être un enjeu pour le développement économique du « bassin parisien », alors qu'il est toujours fragilisé par certains aspects du développement du territoire. L'action du PIREN-Seine se décline ainsi au croisement de l'analyse du développement d'un territoire au travers de l'utilisation de ses ressources en général, et de sa ressource en eau, qui joue un rôle très particulier à de nombreux égards, à la fois ressource prisée, ressource fragilisée qui enregistre les activités menées sur le bassin et ensemble de milieux à valoriser.

Les rapports de fin de phase sont présentés selon 4 parties principales.

La partie « **Le bassin de la Seine et les marques de l'action de l'homme** » rassemble des visions à grande échelle sur le fonctionnement du bassin de la Seine.

Le premier chapitre, par **Barles et al.**, est consacré à la ville et au fonctionnement du bassin de la Seine fait le bilan des flux de matière impliqués par les activités économiques qui se développent dans l'agglomération parisienne. Non monétarisées, elles n'en sont pas moins une mesure robuste bien que partielle de l'activité économique, et de son impact, direct ou indirect, sur des ressources dans le bassin de la Seine et hors du bassin de la Seine. Ces travaux s'inscrivent dans le temps long et proposent une image sur plusieurs siècles des consommations et cycles trois éléments essentiels de la consommation de biens dans les villes : les

matériaux pour la construction, l'énergie et l'alimentation humaine.

Dans le deuxième chapitre, **Lorgeoux et al.** proposent une autre analyse des traces mesurables de contaminations laissées par l'homme sous forme de contamination chimique dans les sédiments de la Seine au cours du dernier siècle. Plusieurs carottes de sédiments ont été prélevées en différents points du bassin. Une fois datées, elles permettent d'examiner les contaminations du passé. Pour les métaux, des valeurs plus fortes (d'un facteur allant jusqu'à 10) sont obtenues pour certains métaux (Pb, Cd, Ag, As....) dans la période 1960-1970, alors que les usages de ces métaux, pour ceux qu'on connaît, ne montrent pas de baisse significative à l'échelle des 50 dernières années. Ceci qui témoigne des efforts consentis pour la limitation des rejets vers l'environnement, quelle que soit leur origine. L'analyse de l'évolution dans le temps des contaminants organiques (PCB, HAP antibiotiques) démontre des évolutions similaires, avec des dates plus récentes pour les pics de concentration de certains produits d'usage plus récent (PBDE). Pour les contaminants les plus anciens on retrouve approximativement le facteur 10 mis en évidence pour les métaux les plus contaminés dans le passé, alors que la contamination par les HAP semble encore plus ancienne. L'évaluation des risques liés à la présence de stocks anciens et quantitativement mal connus de sédiments contaminés reste à mener.

Le dernier chapitre évalue la contribution du bassin de la Seine et ses compartiments aux émissions de gaz à effet de serre d'intérêt global, le N_2O et le CH_4 . **Garnier et al.** proposent une vision des émissions de gaz à effet de serre directes et indirectes par les productions agricoles dans le bassin de la Seine, vision largement étayée par des séries de mesures et modélisation réalisées au cours de la phase 5. De nombreuses mesures ont été acquises dans les sols, zones humides et cours d'eau du bassin pour établir cette évaluation de la contribution de différentes parties du bassin de la Seine à un phénomène mondial. Le bilan proposé a également pu être comparé à d'autres modes d'estimation (modélisation, bases de données). Il comporte principalement un bilan des émissions d'oxyde nitreux (N_2O), largement soutenues par les apports d'engrais sur le bassin et en majorité émises à partir des sols, et des émissions de méthane (CH_4) majoritairement émis par les animaux d'élevage alors que les sols peuvent être sources ou puits de ce gaz vis à vis de l'atmosphère. Dans le bassin de la Seine, les cours d'eau et zones humides sont toujours des sources qui représentent environ 10% (N_2O) ou 1% (CH_4) des émissions totales du bassin.

Les parties suivantes de cette série de synthèses thématiques pénètrent différents aspects du fonctionnement hydrologique, biogéochimique ou écologique du bassin de la Seine, sous l'influence très prégnante de l'action de l'homme. Séparer en parties les éléments de description d'un tout, dont nous avons préalablement démontré l'unité par l'analyse des flux de matière, n'est pas chose aisée. Nous avons pris le parti de structurer les parties à partir du fonctionnement hydrologique du bassin et de ses éléments. La tendance générale dans le bassin de la Seine, sauf dans quelques sous-bassins particuliers, va d'une pression humaine rurale et agricole dans les secteurs les plus amont vers une pression plus urbaine vers l'aval.

La partie « **Des parcelles aux nappes** » est centrée sur l'analyse de l'usage d'intrants par les agriculteurs, sur les facteurs qui l'explique et sur les conséquences de ces usages sur le niveau de contamination des nappes, par les nitrates et les pesticides. Elle combine donc analyse et modélisation des pratiques culturales, de leur efficacité, et des facteurs qui contraignent leur mise en œuvre, avec une modélisation des conséquences de ces pratiques sur la qualité des nappes.

Le travail réalisé par **Nicola et al.** sur l'utilisation des pesticides est une analyse extrêmement précise de la réalité terrain basée sur l'examen détaillé des carnets de plaine dans le bassin de l'Orgeval. Elle a permis clairement de distinguer et quantifier deux types de facteurs : (i) ceux qui sont fondés sur les itinéraires techniques, dont certains leviers majeurs ont été mis en évidence et (ii) des facteurs externes comme la réglementation dont l'effet est évident, et d'autres facteurs économiques ou pédoclimatiques dont l'influence mérite d'être encore examinée. Ces résultats pourront être extrapolés dans le futur, sur le bassin de l'Orgeval où pourront être explorés les effets de différentes politiques, et sur d'autres bassins sensibles où ce type d'enquête pourra être réalisé. L'extrapolation à d'autres bassins hors enquête spécifique doit encore faire l'objet de recherches fondées sur la mise en relation des bases de données nationales et régionales avec les

facteurs mise en évidence à très petite échelle.

Bien qu'étudié depuis beaucoup plus longtemps, l'effet de différentes pratiques agricoles sur l'infiltration des nitrates demeure l'objet d'investigation. **Beaudouin et al.** cherchent à identifier les conséquences de pratiques et cultures récentes (cultures intermédiaires, non-labour, pratiques de l'agriculture biologique ou intégrée, cultures à vocation énergétique de deuxième génération...), mais aussi, de consolider la crédibilité de nos modèles couplés en validant le potentiel du modèle agronomique STICS à simuler l'effet de ces pratiques. A ces fins, la teneur en azote des eaux qui s'infiltrent est mesurée sur plusieurs mètres sur des parcelles dont la conduite est parfaitement contrôlée durant de nombreuses années. Les résultats obtenus démontrent à la fois l'intérêt des cultures intermédiaires sur les exportations de nitrate sur le long terme, sous réserve qu'elle soit compensée par une limitation des intrants, ainsi que la capacité de STICS à simuler ces effets. A l'échelle d'exploitations ou de très petits bassins, l'effet des cultures intermédiaires est nettement confirmé malgré la variabilité des caractéristiques des sols et des conduites des cultures. L'analyse de données d'exploitation sur le site de Mirecourt converti depuis quelques années à des pratiques d'agriculture biologique montre aussi une faible mais significative diminution des concentrations moyennes d'azote sous-racinaire (dans cette région d'élevage elles étaient déjà faibles avant la mutation). Elle met aussi en évidence la nécessité de mieux cerner le devenir des résidus d'azote issus des plantes fixatrices d'azote atmosphérique, et le recyclage des effluents d'élevage.

La modélisation économique permet de tester des hypothèses sur les conséquences de différents mécanismes financiers bien entendu sur les intrants et les niveaux de production mais aussi sur l'utilisation des terres qui pourrait en résulter sous l'hypothèse que les agriculteurs cherchent à maximiser leurs marges. Au cours de la phase 5 du programme, un ensemble de modélisation a été développé à ces fins (**Bourgeois et al.**), et l'exemple de l'impact d'une taxation de l'intrant azoté est donné, ainsi que l'effet cumulé de la taxation et d'une aide aux carburants de deuxième génération. Les sorties de cet ensemble de modélisation concernent à la fois les bilans financiers pour les différentes parties (agriculteurs, état...), l'évolution de l'usage des terres, différente selon les différentes régions du bassin et les émissions et concentrations de composés de l'azote (nitrate, N₂O).

Plus généralement, que les scénarios étudiés soient pilotés des politiques économiques simulables grâce aux outils présentés au paragraphe précédent, ou par le développement de toute autre hypothèse, ses conséquences doivent être évaluées par la modélisation. Une grande partie de nos activités au cours des quatre dernières années a été consacrée à re-développer l'ensemble de modèles dont nous disposons pour mieux les intégrer. Ce travail, présenté par **Habets et al.**, est réalisé dans le cadre de la plate-forme de modélisation Eau-Dyssée. Il consiste à modifier, parfois recoder, les modèles pour qu'ils puissent échanger plus facilement (utilisation du coupleur Palm) tout en fonctionnant selon leurs propres échelles temporelles et spatiales (exemple du couplage avec la modélisation économique), ou à mettre à jour les versions (par exemple du modèle agronomique STICS). De plus, différentes fonctionnalités ont été ajoutées aux modèles comme une meilleure simulation de l'infiltration dans la zone non saturée ou le couplage explicite des cours d'eau dans la modélisation hydro-géologique notamment pour simuler les échanges nappe-rivière en cas de crue en rivière ou encore alimenter les concentrations en rivière avec une très bonne définition dans l'espace et le temps. La structuration Eau-Dyssée favorisera dans le futur l'évolution des outils de modélisation.

Le sol est un réacteur absolument fondamental pour la circulation de l'eau, en quantité et en qualité. Mais dans sa circulation horizontale, l'eau traverse une variété de milieux, du terrestre à l'aquatique qui affectent considérablement le flux et la qualité de l'eau, notamment les teneurs en nitrates et autres formes de l'azote. Ces milieux, multiples et connectés, sont aussi porteurs d'enjeux propres, enjeux écologiques et enjeux (usage et risques) pour les populations humaines. C'est l'objet de la deuxième Partie de documents présentés dans ces rapports intitulée « **De l'amont à l'aval, fonctions d'un système hydrographique sous influence humaine** ». Le bassin versant ne peut être réduit à la somme de ses constituants, son fonctionnement est marqué par les circulations qui s'y déroulent au travers de séries de continuités entre milieux au sein des vallées en particulier, contrôlent le potentiel de rétention et transformation et rétention de l'eau et des produits qu'elle transporte.

Vilain et al. ont étudié en détail le dynamique d'émission de N₂O le long d'un versant agricole présentant des degrés d'hydromorphie variables depuis le plateau jusqu'à la zone riparienne, et dans les nappes sous-jacentes. Il démontre des tendances claires entre les quantités de N₂O émises et la position le long du versant et la teneur en eau du sol. Il décrit également les facteurs qui expliquent les teneurs en N₂O dans les nappes. Ces travaux permettront dans l'avenir de simuler les émissions de N₂O en fonction de la position des parcelles sur lesquelles sont effectués les apports d'engrais, et donc d'évaluer l'effet de politiques d'apports différenciés sur les émissions de ce gaz à effet de serre.

Les processus biogéochimiques, notamment les transformations de l'azote qui nous préoccupent, sont pilotés par des contraintes physiques (flux d'azote et d'eau, température, degré hydromorphie du milieu...) mais aussi par les populations microbiennes qui sont le moteur des transformations. **Roose-Amsaleg et al.** ont évalué la variabilité de ces populations notamment la diversité des bactéries portant les gènes d'enzymes impliqués dans la réduction des nitrites ou du N₂O. Selon les milieux (sédiment/eau/sol) les bactéries porteuses de ces gènes sont toujours présentes mais logiquement plus ou moins nombreuses. Mais on note aussi que la structure du génome de ces bactéries évolue selon les milieux étudiés. Il n'est pas possible de faire un lien a priori entre similitude génomique et similitude fonctionnelle mais les différences observées suggèrent qu'on s'intéresse de manière différenciées aux propriétés fonctionnelles de ces bactéries, pour évaluer un facteur explicatif supplémentaire des émissions de N₂O mises en évidence par **Vilain et al.**

Avec un degré d'hydromorphie plus important que les bas de pentes agricoles, les zones humides constituent une autre série de milieux propices à des processus actifs pour la transformations de nombreux contaminants. **Benoit et al.** nous rappellent, à partir notamment de travaux réalisés sur des cartes anciennes que la plupart de ces milieux ont été largement aménagés, voire créés par l'homme depuis plusieurs siècles. Le rapport de synthèse préparé par **Tournebize et al.** rassemble les informations et les bilans qui ont pu être réalisés sur 3 zones humides représentatives alimentées par la nappe de Beauce sans la vallée de l'Essonne (cas d'anciennes cressonnières), la nappe de la craie dans la vallée de la Superbe (cas d'une tourbière dont les écoulements ont été modifiés) et des drains agricoles dans le bassin de l'Orgeval (cas d'un bassin de rétention). Les modalités de la rétention de l'azote par dénitrification sont mises en évidences dans ces milieux, et un modèle est proposé pour simuler l'évolution des nitrates, il met en évidence l'importance de la production primaire dans la zone humide sur le bilan de dénitrification.

Enfin, les travaux de **Passy et al.** intègrent déjà une partie de ces éléments dans une série de tests de scénarios d'occupation du sol dans le bassin de la Seine, de la Seine et de l'Escaut. Basées sur le modèle Seneque et le modèle Miro pour la zone côtière, ces modélisations explorent l'effet de différents scénarios, du passé (DERU) au futur (application de mesures plus ou moins drastiques sur les bassins versants du Grenelle de l'environnement puis sur tout le bassin).

Au sein des bassins versants, les étangs jouent des rôles multiples. Ils constituent notamment des milieux dont l'hydrologie est complètement différente du reste du cours d'eau qui les traversent, et favorisent ainsi la présence d'espèces de poissons spécifiques. Dans l'objectif d'améliorer la structure des habitats à l'échelle de bassins versants, **Bélliard et al.** ont analysé les populations piscicoles dans deux petits bassins et démontrent l'influence des divers aménagements, ruptures de l'habitat, sur les populations. Des premiers modèles statistiques sont proposés mais ils sont encore basés sur des quantités de données limitées. Ces travaux à l'échelle de petit bassins complètent les approches plus classiques au sein du programme et complétées au cours de cette phase. Développées à l'échelle de l'ensemble du bassin elles relient statistiquement la présence d'espèces de poissons aux caractéristiques hydromorphologiques et à l'usage des sols en tout point du bassin de la Seine.

Enfin **Carre et al.**, à partir d'une série d'études menées sur 4 petites rivières urbaines (Bièvre, Orge, Essonne et Grand Morin) démontrent les multiples ruptures qui affectent ces cours d'eau, ruptures physiques et hydrologiques, mais aussi ruptures sociales et politiques dans les modalités de gestion, les perceptions et usages, mais aussi le projet politique pour la rivière et le territoire qui l'environne. Alors que l'idée de

continuité est de plus en plus présente et acceptée, les efforts réalisés pour la mettre en œuvre restent contraintes par le système de valeurs en cours pour la rivière. Il varie significativement d'un cours d'eau à l'autre, et peut conduire à une mise en œuvre très partielle du principe de continuité au sein de chacun des bassins versants.

La dernière partie est consacrée au « **milieu urbain et à ses contaminations** ». Sont étudiés à la fois les mécanismes d'émission et transfert des contaminants et les impacts observables sur des organismes vivant dans le milieu. Les contaminants étudiés vont des métaux aux contaminants organiques. Certains sont étudiés depuis longtemps, d'autres ont attiré l'attention beaucoup plus récemment, qu'il s'agisse des « contaminants émergents » (organiques) ou de certains métaux. Bien que focalisé sur les contaminations d'origine essentiellement urbaine fortement concentrées dans l'agglomération parisienne, l'objet de l'étude est le bassin de la Seine tout entier, pour plusieurs raisons. D'une part, il est nécessaire de pouvoir définir des situations de références auxquelles comparer les sites qui sont sous très forte pression urbaine à des références. De plus, bien que l'urbanisation soit concentrée dans l'agglomération parisienne, des agglomérations ou des implantations industrielles localisées dans des sous-bassins versants de petite taille peuvent exercer des pressions relatives considérables. Enfin, les émissions atmosphériques transfèrent une large fraction des contaminations d'origine urbaine dans tout le bassin. **Marc Chevreuil** présente la stratégie générale mise en place pour l'étude des contaminations organiques, y compris le choix des molécules étudiées.

L'origine et les modalités de transport de la contamination par les micro-polluants organiques est présentée dans trois rapports successifs. Le rapport présenté par **Moreau-Guigon et al.** est focalisé sur la contamination atmosphérique, sur sa variabilité saisonnière, sur ses modalités (voie gazeuse, contamination fixées sur les particules, entraînement par la pluie), puis sur son transfert vers les sols du bassin versant. Ainsi, la contamination due à la retombée est comparée à l'effet des apports par épandage de boues d'épuration.

Gasperi et al. présentent une vision du niveau de contamination du milieu en trois stations clés au sein du bassin versant, à Marnay, à l'amont du bassin, en Seine, à Bougival au centre de l'agglomération parisienne et à Triel, à l'aval de l'agglomération. Ces trois stations clé, suivies durant plus d'une année, permettent de bien décrire les grandes tendances pour de nombreux contaminants. Ce travail en trois sites a été complété par des profils en long qui mettent en évidence le rôle des affluents et de différents apports sur la qualité des eaux de la Seine.

Enfin, **Moreau-Guigon et al.** présentent une synthèse des connaissances rassemblées sur la présence et le devenir des produits médicamenteux dans le bassin de la Seine. Un effort particulier a été fait sur les antibiotiques au travers de deux thèses, la dernière allant être soutenue au début de 2012. Le cours principal de Seine et des plus petits bassins versants ont ainsi pu être étudiés en détail. Le travail a été complété par des séries de mesures d'autres types de produits médicamenteux à la traversée de l'agglomération parisienne.

Sophie Ayrault présente la stratégie utilisée pour l'étude des métaux. Alors que pour les métaux les plus étudiés (Zn, Cu, Ni...), les niveaux de concentration commencent à être bien connus à la fois la suite des travaux de recherche et des suivis réglementaires, à la fois pour la fraction dissoute et pour les sédiments dans les principaux cours d'eau du bassin de la Seine, l'effort de recherche a porté sur les formes chimiques sous lesquelles les métaux se trouvent, et leur biodisponibilité, et sur leur origine.

Priadi et al. ont examiné en détail le fractionnement dissous/particulaire des métaux et la spéciation des métaux au sein des deux fractions sur les 3 stations précédemment citées (Marnay, Bougival, Triel). Un trait marquant commun à la plupart des métaux est la double augmentation d'amont en aval, à la fois de la concentration totale dans chaque fraction, mais aussi de la biodisponibilité, ce qui joue un effet multiplicateur en terme d'impact potentiel.

La spéciation des métaux dissous est également abordée par **Varrault et al.** Une méthode d'extraction des matières organiques dissoutes a été mise au point et utilisée en différentes stations au sein de bassin. Elle

montre clairement une évolution amont-aval de la composition de la matière organique. Le potentiel de complexation de la matière organique a été mesuré pour quelques métaux (Zn, Cu, Hg). Ces travaux ont porté à la fois sur les caractéristiques de la complexation (détermination des paramètres thermodynamiques nécessaires à la modélisation de la complexation) et sur le rôle protecteur de la matière organique vis à vis de la toxicité des métaux, du cuivre en particulier.

Les travaux présentés par **Gélabert et al.** complètent les précédents en apportant des mesures directes de spéciation (ion libre) par une technique spécifique (membrane de Donnan) ce qui donne une information de premier ordre pour confronter les résultats de modélisation et valider les modèles de spéciation dissoute des métaux. La méthodologie a été développée durant cette phase du programme et les premiers résultats sont confrontés aux modèles de spéciation standard. L'intégration des paramètres acquis spécifiquement sur les différentes fractions de la matière organique de la Seine reste à mener. Enfin l'analyse de la composition isotopique du Zn peut être à la fois indicateur de source et de processus de transformation a pu être étendue à l'aval de l'agglomération parisienne, à partir de travaux de thèse préalables qui concernaient surtout le secteur amont. Ces données encore préliminaires confirment l'existence d'une évolution très significative d'amont en aval. Le fractionnement isotopique induit par certains processus (certaines précipitations notamment) doivent encore être étudié en détail avant que les évolutions observées soient comprises.

Les contaminations d'origine urbaine ont été étudiées de plus dans la partie très urbanisée de certains cours d'eau, dans la Marne la Seine et l'Orge.

Les travaux présentés par **Blanchoud et al.**, réalisés dans le cadre de l'opération Phyt'eaux Cités analysent l'importance d'apports de pesticides d'usage urbain dans le bassin de l'Orge. Les opérations menées démontrent la dominance des apports urbains pour le pesticide le plus fréquemment rencontré, elle est expliquée à la fois par l'importance des usages urbains et la faiblesse du ruissellement sur un grande partie du territoire agricole dans le bassin. Les bilans réalisés au cours de l'opération pluri-annuelle Phyt'Eaux Cités montrent une diminution significative des flux de pesticides exportés par l'Orge au long des années ou le programme d'incitation à une limitation des usages urbains a été mené.

Les apports de contaminants par le ruissellement urbain ont été évalués au travers de deux opérations de type suivi de masses d'eau en rivière en temps de pluie et par des bilans au sein du bassin versant de l'Orge. Dans ce bassin versant, la majeure partie des eaux usées sont exportées hors du bassin et la contamination mesurable dans l'Orge résulte des apports par ruissellement urbain et surverse de réseau plus des rejets de quelques stations de traitement des eaux de petite taille. Les résultats synthétisés par **Mouchel et al.** mettent en regard les différentes sources d'apports. Les flux transportés par temps de pluie dans les cours d'eau augmentent pour tous les contaminants, et des concentrations élevées ont été mesurées dans les petits cours d'eau urbains par temps de pluie. Cependant les sorties du bassin versant via les eaux usées (avant traitement, cas de l'Orge) sont dominantes pour tous les contaminants hormis les PCB et les HAP pour lesquels le partage est assez équilibré.

Les apports de temps de pluie ont également été étudiés du point de vue des contaminants d'origine fécale. Bien que les données soient encore incomplètes, il semble de plus en plus évident que les apports de temps de pluie du réseau unitaire constituent une source qui devient majeure alors que les usines d'épuration sont de plus en plus efficace pour les éliminer. **Servais et al.** rapportent les résultats obtenus au cours de l'été 2010. Les concentrations très variables observées dans les rejets de temps de pluie sont expliquées en grande partie par celle des eaux usées de temps sec, ce qui suggère qu'un modèle de mélange au sein du réseau devrait suffire à des simulations. Le modèle ProSe a été modifié pour simuler les bactéries indicatrices fécales et les rejets de l'été 2010 simulés, les ordre de grandeur sont corrects par temps sec, mais seules certaines pluies ont pu être simulées de manière satisfaisante, pour d'autres, les teneurs mesurées en Seine sont restées très faibles et incompatibles avec les résultats de la simulation.

D'autres bactéries ont été étudiés à différents niveaux géographiques dans le bassin de la Seine et particulièrement en milieu urbain. Les mycobactéries non tuberculeuses (MNT) sont un groupe mal connu

dans les milieux naturels, alors qu'il est plus fortement étudié dans le milieu hospitalier. Les travaux menés par **Radomski et al.** sur des échantillons de sols ont montré que les critères favorables à la présence de MNT sont l'humidité et la teneur en matière organique. Ce sont donc des sols forestiers ou de zones humides plutôt qu'urbains qui sont les plus propices aux MNT dans l'échantillonnage réalisé. De même, le ruissellement urbain. Par ailleurs le ruissellement urbain ne semble pas avoir provoqué d'augmentation des teneurs en MNT. Ces résultats demeurent cependant fondés sur de petits nombres d'échantillons.

Enfin, les derniers documents présentés dans cette partie concernent les effets des rejets contaminants d'origine majoritaire urbaine. La synthèse est présentée pour trois types d'espèces, les dreissènes (mollusques), des poissons et des bactéries dans le cas particulier des antibiotiques.

Les recherches menées sur les dreissènes, rapportées par **Gourlay et al.**, sont basées sur l'utilisation de plusieurs indicateurs physiologiques plus ou moins spécifiques de la présence de contaminants (mécanismes de détoxification ou mécanismes de digestion par exemple). D'une manière générale, les indicateurs sont à la fois sensibles à la fois à physiologie propre de l'organisme, à ses fluctuations saisonnières par exemple, et à la présence de contaminants. Une analyse approfondie des facteurs du milieu, hors toxiques, est donc encore nécessaire. Dans certains cas, une analyse très approfondie des résultats, par exemple celle de la dynamique de bioaccumulation des métaux, permet par la modélisation de simuler les teneurs observées dans les organismes en fonction de celles du milieu. Dans quelques autres, notamment pour ce qui concerne la génotoxicité, les résultats sont plus évidents.

Pour les poissons, les résultats rapportés par **Labadie et al.** concernent surtout le gardon que nous avons utilisée comme espèce modèle. De très nombreux contaminants, dont des contaminants émergents, ont été étudiés dans ces organismes. L'objectif de ces travaux est de mettre en évidence les grands traits qui expliquent la présence des contaminants dans les poissons et dans certains de leurs organes à partir de la distribution des contaminants dans le milieu, de leurs propriétés physico-chimiques, et de leur potentiel de métabolisation. Les contaminants étudiés sont les perfluorés, les phtalates, les PCB et les PBDE. Les différences observées dans les deux dernières familles, halogénées, mettent en évidence des différences majeures liées aux voies métaboliques complexes qui existent pour les PBDE.

Chen et al. n'ont pas observé d'effet des 3 antibiotiques testés à des concentrations naturelles sur la dénitrification dans les sédiments de la Charmoise alors que les tests d'antibiorésistance des bactéries cultivables du milieu à l'aval de la STEP démontrent un accroissement de l'antibiorésistance des bactéries autochtones pour les deux antibiotiques utilisés sur le bassin versant. L'impact des antibiotiques, s'il semble mesurable sur ce site via l'antibiorésistance, n'a pas de conséquences sur la fonctionnalité biogéochimique qu'est la dénitrification. D'autres essais sur de plus longues périodes d'incubation et des doses plus fortes seront réalisées pour mettre en évidence les limites d'impact, en application continue, des antibiotiques sur la dénitrification ainsi que la nitrification.

Garcia-Armisen et al. se sont intéressés spécifiquement à la présence de bactéries antibiorésistantes parmi les autochtones, en tentant de la mettre en relation avec l'antibiorésistance ou la présence des bactéries fécales *E. Coli* dans les mêmes milieux, pour ces séries de milieux plus ou moins contaminés par des bactéries fécales. Aucune relation n'a pu être mise en évidence, ce qui certainement ne permet pas de mettre en évidence de transfert d'antibiorésistance entre bactéries fécales et bactéries autochtones. Cependant, le site de Conflans sous forte influence des rejets urbains, présente les pourcentage d'antibiorésistances les plus forts pour les bactéries cultivables, comme l'ont montré **Chen et al.** pour d'autres antibiotiques. Mais il n'en est plus de même lorsque toutes les bactéries sont étudiées (cultivables et non cultivables). Les facteurs explicatifs de l'antibiorésistance restent donc assez obscurs et un travail de caractérisation moléculaire des souches de bactéries antibiorésistantes a été entrepris.

En annexe figurent divers développements récents, qui viennent en support aux synthèses, ou annoncent des développements pour le futur.