

## Introduction

Né en 1989 d'une initiative du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), le Programme Interdisciplinaire de Recherche sur l'Environnement de la Seine (PIREN-Seine) coordonne les actions de recherche d'une dizaine d'organismes de recherche et d'universités portant sur le bassin versant de la Seine, en étroite liaison avec les organismes publics ou privés impliqués dans la gestion de l'eau. Son objectif général est de développer les connaissances d'ensemble des processus physiques, biologiques et socio-économiques nécessaires pour une gestion durable des ressources hydriques du bassin.

L'espace de 75000 km<sup>2</sup> constituant le bassin versant de la Seine forme un ensemble régional d'écosystèmes parfaitement exemplaire des tensions environnementales auxquelles sont confrontés les pays industrialisés. Il est caractérisé en effet à la fois par le développement d'une agriculture très intensive basée sur les grandes cultures exportatrices, et par la présence d'une mégapole parmi les plus grandes d'Europe, qui conditionne la plupart des choix d'aménagement du territoire. Dans cette mosaïque complexe de territoires que constitue l'espace du bassin versant, l'hydrosystème représente un élément structurant essentiel. L'eau, parce qu'elle en est le principal élément mobile, constitue en effet un lien fonctionnel fort entre les différentes parties du paysage. Sa composition, comme la qualité des écosystèmes qu'elle supporte, reflète par là même, en les 'intégrant' sur l'espace et le temps, les caractéristiques du fonctionnement des systèmes terrestres de tout le bassin versant. L'étude de l'hydrosystème, en plus de son importance intrinsèque, offre donc un point de vue privilégié sur le fonctionnement d'ensemble du territoire régional. C'est cet angle de vue qui est adopté dans le PIREN-Seine pour aborder l'étude des systèmes formés à l'échelle régionale par la société humaine et les milieux qu'elle investit, qu'elle exploite ou qu'elle affecte.

L'objectif scientifique général du programme, tel qu'il a été défini pour sa troisième phase quadriennale (1998-2001) est donc de développer une vision d'ensemble, -formalisée sous forme de bilans de matière et de modèles mathématiques -, des transferts et des transformations d'éléments biogènes et anthropogènes dans le bassin versant de la Seine et son hydrosystème. Il développe des outils de modélisation permettant d'évaluer l'impact sur les ressources en eau, des aménagements et des règles de gestions adoptés ou en projet, et donc d'optimiser la gestion de l'eau.

Les travaux de cette phase du programme ont été marqués par 3 grandes préoccupations.

La première résidait dans la volonté de replacer le réseau hydrographique de la Seine dans la complexité du fonctionnement de son bassin versant. Il s'agissait là d'un élargissement considérable du champ des recherches du PIREN-Seine, auparavant limité aux systèmes aquatiques. C'est dans cette perspective qu'ont été menés les travaux sur l'agriculture dans le bassin de la Seine et la mise au point d'outils permettant de faire le lien entre les pratiques agricoles et la qualité des eaux souterraines et superficielles. Les travaux sur les sources et les transferts de pesticides, ainsi que sur les retombées atmosphériques de contaminants, relèvent de la même préoccupation.

Un second axe consistait dans la prise en compte du temps long: reconnaître la nature dynamique de l'hydrosystème, voir le fonctionnement présent comme le résultat d'une histoire, et reconstituer cette histoire dans le détail des mécanismes mis en jeu. La démarche s'imposait pour prendre en compte tous les compartiments à long temps de réaction du système Seine (sols du bassin versant, sédiments déposés, aquifères, mais aussi parc d'équipements techniques) dont l'état actuel résulte des héritages du fonctionnement passé, et dont les inerties conditionnent largement l'évolution future. C'est dans cette perspective que se sont inscrits par exemple les travaux sur la genèse du paysage hydrologique rural, sur les enjeux sous-jacents au choix des solutions techniques apportées aux problèmes de la gestion des eaux usées parisiennes.

Troisième préoccupation majeure, la mise au point de *modèles opérationnels* capables tout à la fois de rassembler et de faire dialoguer les connaissances acquises sur les processus à l'œuvre dans le fonctionnement de l'hydrosystème et de servir d'outils de gestion de la qualité de l'eau et du milieu adaptés aux besoins des décideurs. Ces besoins sont multiples, comme le sont les acteurs de la gestion de l'eau, et varient de l'échelle du périmètre de SAGE (quelques centaines de km<sup>2</sup>) à celle du bassin entier. Ils deviennent plus pressants encore depuis l'adoption de la nouvelle Directive Cadre Européenne, qui précise les modalités de la gestion intégrée des ressources en eau à l'échelle des grands bassins versants, et recommande de fixer des objectifs de restauration d'un 'bon état écologique' des cours d'eau à échéance de 15 ans. Le PIREN-Seine a largement progressé dans la compréhension et la modélisation du fonctionnement des hydrosystèmes. Les modèles développés précédemment sont maintenant appliqués en routine à un spectre très large de situations. Des outils ont été adaptés ou établis pour représenter le fonctionnement de petits cours d'eau amont tout comme celui de grands secteurs fluviaux. Des modèles 'tournent' à l'échelle du bassin pour retracer l'évolution de la qualité de l'eau durant le dernier siècle, ou pour définir la sensibilité de l'hydrosystème aux possibles changements climatiques. Des compartiments importants dont l'étude n'avait pas été abordée dans les phases précédentes (comme les macrophytes, les bactéries fécales, ou les matières en suspensions,...) font maintenant l'objet de modèles prédictifs. Ces modèles ne sont pas offerts sous la forme d'un 'Modèle Unique', capable d'embrasser à lui seul tous les problèmes de qualité de l'eau et du milieu à toutes les échelles où ils se posent. Nous y substituons l'idée de 'Boîte à Outils' de Modèles Coordonnés: selon la nature des problèmes auxquels ils s'adressent, et l'échelle de leur domaine géographique, divers outils de modélisation ont été mis au point, formant un ensemble coordonné de modèles de complexité adaptée à leur objet et aux questions posées, et parfaitement capables de communiquer entre eux, les résultats d'un modèle général pouvant être facilement utilisés comme données d'entrées (par exemple comme conditions aux limites) dans un modèle plus particulier. Le champ entier de la superficie d'un bassin et des problématiques qui se posent pour sa gestion est ainsi pris en compte, mais à travers une diversité d'outils, dont chacun est alors beaucoup plus maniable et transférable.

Les contributions synthétiques qui constituent le rapport final de la 3<sup>ème</sup> phase du PIREN-Seine sont organisées de la manière suivante :

Le thème de **l'agriculture et de son impact sur la qualité des eaux**, axe majeur du programme, a fait l'objet de 5 documents.

Le premier (*Dynamiques agricoles et pollution nitrique diffuse : modélisation intégrée du transfert des nitrates sur le bassin de la Seine*, E. Gomez, E. Ledoux, M.Benoit, C.Mignolet, B. Mary, D. Brunstein) résume les modifications de pratiques agricoles qui ont caractérisé l'évolution du bassin depuis 30 ans, et décrit le développement d'un modèle opérationnel de la contamination nitrique des eaux souterraines qui en résulte.

Un second rapport (*Sources et puits d'eau et de polluants sur des bassins versants élémentaires*, M.Riffard, J.Tournebize, V.Andréassian, P. Ansart, C.Chaumont, N.Derlet, C.Kao, D.Ridet) fait le point sur les travaux menés sur les processus hydriques et les transferts de nitrates dans les bassins élémentaires de l'Orgeval, site instrumenté géré par le CEMAGREF, qui a servi de site atelier au PIREN-Seine.

Les connaissances acquises sur le bilan des transferts de pesticides à l'échelle du bassin de la Marne sont rassemblées dans le document : *Utilisation et transfert de pesticides dans le bassin versant de la Marne*, (H. Blanchoud, V.Andreassian, P. Ansard, JM Mouchel, N. Fauchon, G.Billen, M.Chevreuil).

Les travaux sur les zones humides et le rôle qu'elles jouent notamment dans la réduction des apports diffus de nitrates en provenance des bassins versants agricoles sont détaillés dans un rapport intitulé : *Typologie et fonctions des zones humides riveraines* (S.Gaillard, M. Sebilio, D. Brunstein, D. N'Guyen - The, M. Grably, E. Fustec, H.Bendjoudi, J.P. Bravard, A. Amezal, G.Billen, A. Mariotti)

Enfin une dernière contribution s'interroge sur la méthodologie des études prospectives à l'échelle des bassins versants régionaux et en applique les principes au cas de l'évolution de l'agriculture dans le bassin de la Marne (*Quelle prospective pour l'agriculture : l'enseignement de 3 scénarios sur le bassin de la Marne*, X. Poux, I. Dubien, C. Mignolet, C. Scott).

Si la problématique des apports diffus est au centre des travaux menés sur l'agriculture, celle des **apports ponctuels d'origine urbaine** n'a pas pour autant été négligée.

Une première contribution sur ce thème porte sur les *Charges spécifiques domestiques et la caractérisation des rejets de step* (M.H. Tusseau, P. Servais, J. Garnier).

Une seconde décrit et quantifie les sources et les mécanismes de la contamination en germes indicateurs de pollution fécale; elle jette les bases de la modélisation de la pollution bactériologique (*Bactéries fécales Source et dynamique des coliformes dans le bassin de la Seine*, I. George, P. Servais )

Les transformations de l'azote (nitrification, dénitrification et production de N<sub>2</sub>O) dans le secteur fluvial de la Seine influencé par le rejet des effluents de l'agglomération parisienne sont actuellement un des principaux facteurs d'altération de la qualité de l'eau. Les études détaillées qui leur ont été consacrées sont synthétisées dans un autre document (*Transformation de l'azote dans les grands axes fluviaux anthropisés : de Paris à l'estuaire* J. Garnier, G. Billen, T. Berthe, A. Martinez, S. Pinault, A. Cèbron)

Les connaissances acquises sur l'origine des métaux lourds, leurs voies de transferts et leurs niveaux de contamination dans le bassin de la Seine (en forte diminution depuis une dizaine d'années) sont rassemblées dans un rapport intitulé *Métaux lourds : des bilans en mutation* (D. Thévenot, M. Meybeck, L. Lestel ).

De même les sources et le devenir des micropolluants organiques (HAP et PCB) font l'objet d'une synthèse : *Activités humaines et transferts de polluants organiques persistants* (B. Garban, D. Ollivon, M-J Teil, M. Blanchard, H. Blanchoud, A. Motelay-Massei, C. Chesterikoff, L. Hanselin, J. Rolet, L. Le Genti, M. Chevreuil)

Le **fonctionnement écologique du réseau hydrographique** a été étudié essentiellement sous trois aspects :

La dynamique particulière des matières en suspension, l'évaluation et la modélisation des leurs stocks, et de leur temps de séjour, ainsi que l'étude des processus de transferts des sédiments dans les différents secteurs du réseau hydrographique de la Seine a fait l'objet de travaux tout à fait originaux synthétisés dans le rapport : *Dynamique des MES* (J.M. Mouchel, P. Bonté, A. Thomas, M. Poulin, L. Martin).

La dynamique des nutriments (N,P, Si) et les phénomènes d'eutrophisation qui en découlent. Il s'agissait de cerner les facteurs de contrôle 'bottom-up' (disponibilité des nutriments, facteurs hydrologiques) et 'top-down' (broutage zooplanctonique et filtration par les organismes benthiques) du développement végétal (phytoplancton, macrophytes, périphyton). (*Développement des peuplements végétaux dans le Bassin de la Seine : Dynamique des nutriments et eutrophisation. Contrôle par les organismes filtreurs* J. Garnier, G. Billen, O. Dufayt, M. Akopian, J. Nemery, S. Pinault, M. Desruelle, N. Flipo, S. Even, M. Poulin).

Enfin le lien, établi à l'échelle du bassin, entre les caractéristiques d'habitat et la composition du peuplement piscicole est l'objet d'un troisième rapport (*Modélisation du Peuplement piscicole*, P. Boët et al).

Si l'ambition d'appréhender l'échelle régionale est une des principales spécificités du PIREN-Seine, cette volonté se double d'un désir de représentation aussi fine que possible des processus en œuvre. C'est donc dans le mode d'extrapolation à l'échelle du bassin, des résultats d'études de processus menées localement, que réside la force de la démarche, qui cherche à se démarquer ainsi d'une pratique courante consistant à utiliser, pour les grandes échelles, des modèles très simplistes dans leur représentation des mécanismes. Deux rapports décrivent les études menées sur **deux sites ateliers** du PIREN durant sa troisième phase.

Le premier concerne la Bassée et synthétise sous l'angle du fonctionnement biogéochimique les données acquises sur cette vaste zone humide tant dans le cadre du programme PIREN-Seine que dans celui du PNRZH (*Fonctionnement du territoire Bassée*, E. Fustec, H. Bendjoudi, et al.)

Le second illustre la capacité des modèles de la boîte à outils du PIREN-Seine à simuler le fonctionnement d'ensemble d'un petit cours d'eau rural. (*Le site Atelier du Grand Morin*, M. Poulin, N. Flipo, M.H. Tusseau J. Garnier, J. Nemery, G. Billen )

Une autre illustration des performances des modèles du PIREN-Seine réside dans leur application à la question de l'optimisation de la régulation des débits en période d'étiage: dans quelle

mesure la manipulation des débits peut-elle améliorer la qualité de l'eau en situation de crise (blooms algaux, déversements d'orage). (*Maîtrise des débits en situation d'étiage*, S.Even, G.Billen, J. Garnier, J.M. Mouchel, D. Tican)

Enfin, l'ensemble des travaux menés pour retracer l'évolution du Moyen Age au XXe s de la démographie, de l'agriculture, des voies de communication et de la gestion de l'eau dans le bassin de la Seine sont rassemblés dans une contribution qui montre comment le développement de Paris a structuré, dès le Moyen Age toute l'organisation des flux de matières dans cet espace. (*Analyse rétrospective du fonctionnement du système Seine* (S. Barles, P. Benoit, K.Berthier, G. Billen, P. Boët, F. Boyer, D. Brunstein, J. Garnier, A. Guillerme, L. Lestel, M. Meybeck)

Au total, l'ensemble des travaux menés au cours de la 3<sup>e</sup> phase du PIREN-Seine, ont affiné considérablement notre vision du fonctionnement d'ensemble de ce vaste espace régional que constitue le bassin de la Seine. Parallèlement, ils ont aussi aboutit à la mise au point de modèles, qui synthétisent les connaissances acquises et les rendent opérationnelles. Le programme a ainsi su concilier, au sein d'une même démarche, les exigences d'une recherche fondamentale qui vise à fournir les clés pour comprendre, avec celles de la demande sociale qui attend des outils pour guider l'action.

---

## Principales Equipes partenaires

- \*UMR 7619 Sisyphe (CNRS, Univ. P&M Curie, Ecole des Mines de Paris, Ecole pratique des Hautes Etudes). *Paris-Fontainebleau*
- \*UMR 162 : Biogéochimie Isotopique (CNRS, UPMC, INRA) *Paris*.
- \*Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, UMR1572, (CNRS, CEA), *Gif/Yvette*.
- \* UMR 8791 Lab. Géographie physique (CNRS) *Meudon*.
- \*CEREVE (ENPC, ENGREF, Université Paris XII-Val de Marne) *Champs sur Marne, Creteil*.
- \*UR Qualité et fonctionnement hydrologique des systèmes aquatiques (*Cemagref*), *Antony*.
- \*UR Ouvrages pour le drainage et l'étanchéité (*Cemagref*), *Antony*.
- \*Station de Recherche SAD, (INRA) *Mirecourt*.
- \*Unité d'Agronomie de Laon (INRA), *Laon*.
- \*Centre d'Etudes Historiques et Juridiques, (Univ. Paris I) *Paris*.
- \*Centre d'Histoire des Techniques, (CNAM), *Paris*.
- \*LTMU (UMR CNRS 7543), *Champs sur Marne*.
- \*Ecologie des Systèmes Aquatiques (Université Libre de Bruxelles), *Bruxelles*.
- \*Institut de Gestion de l'Environnement et d'Aménagement du Territoire (Univ. Libre de Bruxelles). *Bruxelles*.
- \*CRECEP, *Paris*.

## Partenaires institutionnels

Les travaux du PIREN-Seine sont menés en concertation avec la plupart des acteurs publics ou privés de la gestion de l'eau dans le bassin de la Seine. Ces organismes sont les utilisateurs directs des résultats du programme et en assurent le financement sur base des coûts marginaux (hors salaires et environnement scientifique des personnels statutaires des organismes de recherche).

<u>partenaires</u>	<u>contribution annuelle moyenne (1998-2001)</u>
Agence de l'Eau Seine-Normandie	983 kF HT
CNRS	533
DIREN Ile de France	192
Grands Lacs de Seine	400
Lyonnaise des Eaux	163
Ministère de l'Environnement	228
S.A. pour la Gestion des Eaux de Paris (SAGEP)	150
Syndicat Interdépartemental pr l'Assainissement de l'Aggl. Paris (SIAAP)	800
Syndicat des Eaux d'Ile de France	348
Union Nationale des Producteurs de Granulats	100
Voies Navigables de France	500
<b>total</b>	<b>4395 kF HT</b>