

LA CITÉ DE L'EAU

ET DE L'ASSAINISSEMENT



Les enjeux écologiques de l'assainissement en région parisienne

SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE / COLLÈGE ET LYCÉE

LIVRET PÉDAGOGIQUE



Préambule

L'assainissement se définit comme l'ensemble des techniques de collecte, de transport et de traitement des eaux usées, permettant de rejeter des eaux épurées dans le milieu naturel. Développer le thème de l'assainissement amène à dépasser la technique mise en œuvre, c'est une porte d'entrée vers les thèmes de l'aménagement du territoire, de l'écologie ou encore de l'histoire des sociétés autour de l'eau. C'est un levier pour la compréhension des interactions entre l'Homme et les éléments de la planète. Chacun est acteur de la gestion de l'eau et agit de façon d'autant plus responsable qu'il en comprend les mécanismes.

Soucieux de participer à l'effort global de responsabilisation écologique des citoyens, notamment des plus jeunes, et désireux de répondre aux attentes des enseignants, le SIAAP propose une collection de livrets pédagogiques offrant une approche complète de l'assainissement : Les livrets de La Cité de l'Eau et de l'Assainissement.

LA COLLECTION LES LIVRETS DE LA CITÉ DE L'EAU ET DE L'ASSAINISSEMENT

Après un livret pour les écoles élémentaires édité en 2009, *L'assainissement en région parisienne et la préservation des milieux aquatiques*, le SIAAP propose un outil aux enseignants du secondaire de la région parisienne. Les mêmes thèmes (cycle technique de l'eau, épuration des eaux usées, protection des milieux aquatiques) sont ici approfondis et ordonnés selon différentes disciplines, toujours en s'appuyant sur les caractéristiques de l'Île-de-France et du bassin de la Seine, territoires où œuvre le Syndicat.

Pour le niveau secondaire, la collection comporte quatre volumes thématiques, utilisables au collège et au lycée :

§ Géographie :

L'assainissement, des enjeux globaux, une gestion locale

§ Histoire :

De Lutèce à l'agglomération parisienne, 2 000 ans d'assainissement

§ Sciences de la vie et de la Terre :

Les enjeux écologiques de l'assainissement en région parisienne

§ Physique-chimie, sciences de la vie et de la Terre, technologie :

L'assainissement des eaux usées en agglomération parisienne : principes et procédés

Si ces ouvrages sont destinés à être consultés par l'enseignant de la discipline étudiée, *Les livrets de La Cité de l'Eau et de l'Assainissement* n'en restent pas moins l'outil d'une approche transdisciplinaire du thème de l'assainissement. Des pastilles de couleur "Pour aller plus loin", intégrées dans le corps du texte, signalent à cet effet les éléments développés dans un autre livret de la collection.



Géographie



Histoire



Sciences de la vie et de la Terre



Sciences et techniques

LE LIVRET EN SCIENCES DE LA VIE : LES ENJEUX ÉCOLOGIQUES DE L'ASSAINISSEMENT EN RÉGION PARISIENNE

POURQUOI ÉTUDIER L'ASSAINISSEMENT EN SCIENCES DE LA VIE ?

L'assainissement participe à la protection des milieux aquatiques.

L'eau est à la fois un support de vie et un réceptacle de pollution. Mais l'assainissement permet de réguler et d'atténuer cette seconde fonction. Ainsi, les eaux usées domestiques, industrielles et pluviales rejoignent les réseaux d'égouts, sont dépolluées dans les stations d'épuration, enfin les eaux épurées sont déversées dans les cours d'eau.

Si la région Île-de-France compte 530 stations d'épuration, l'assainissement des eaux usées de l'agglomération parisienne, soit 9 millions d'habitants, est assuré par les cinq (six en 2013) usines d'épuration du SIAAP. Les volumes d'eaux usées sont très importants du fait des fortes concentrations de population. Après traitement, les eaux épurées rejoignent principalement la Seine et la Marne.



Les équipements mis en place pour assurer la dépollution des eaux obéissent à des enjeux sanitaires et environnementaux. La préservation de l'environnement dans le cadre de l'assainissement a vu sa place s'étendre progressivement au cours du XX^e siècle. Les objectifs environnementaux s'appuient sur les principes fondamentaux de l'écologie et la préservation de la biodiversité.

Les deux notions-phare de ce livret ont été consacrées par les Nations unies ces dernières années : "Année internationale de l'assainissement" en 2008 et "Année internationale de la biodiversité" en 2010.

La première partie de ce livret présente la richesse des écosystèmes aquatiques de la région Île-de-France. Un grand nombre d'espèces végétales et animales peuplent les cours d'eau franciliens et les milieux connexes, y compris des espèces protégées, constituant des écosystèmes précieux, au fonctionnement particulier.

Dans les zones très urbanisées, les sociétés humaines se sont développées au détriment des milieux naturels, modifiant et altérant les écosystèmes de nombreuses façons. La deuxième partie détaille les perturbations des milieux aquatiques d'eau douce.

La protection de ces milieux sensibles est encadrée par une législation particulièrement fournie et passe d'abord par la surveillance des milieux. La dernière partie expose l'historique de la réglementation sur l'eau, les moyens de protection et de suivi des milieux aquatiques, ainsi que la traduction des préoccupations environnementales dans le travail des professionnels de l'assainissement et du SIAAP en particulier.

LE SIAAP, SERVICE PUBLIC DE L'ASSAINISSEMENT FRANCILIEN

Le Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne est un établissement public qui dépollue chaque jour les eaux usées de plus de 9 millions de Franciliens, ainsi que les eaux industrielles et pluviales de l'agglomération parisienne. Une eau propice au développement du milieu naturel est ainsi rendue à la Seine et à la Marne.



La Cité de l'Eau et de l'Assainissement, centre de formation et de documentation du SIAAP à Colombes (92), s'est engagée dans l'éducation au développement durable par l'intermédiaire de son service de médiation pédagogique. Sa mission est de sensibiliser les élèves de tous niveaux aux enjeux de la préservation de la ressource en eau et des milieux aquatiques, et de leur enseigner les mécanismes de l'assainissement. Elle propose également des formations aux étudiants sur les techniques de transport et de traitement des eaux usées.

LE SIAAP EN QUELQUES CHIFFRES

- 4 départements constitutifs (Paris, Hauts-de-Seine, Seine-Saint-Denis, Val-de-Marne)
- 286 communes (sur les huit départements d'Île-de-France)
- 9 millions de Franciliens concernés par l'épuration de leurs eaux usées
- 6 stations d'épuration
- 440 km de réseaux
- 2 000 km² de territoire de collecte
- 2,5 millions de m³ d'eaux usées traitées quotidiennement, soit l'équivalent de 700 piscines olympiques remplies chaque jour d'eaux usées.



Mode d'emploi du livret sciences de la vie et insertion dans les programmes

Le corps du livret est destiné aux enseignants des sciences de la vie et de la terre au collège et au lycée. L'enseignant y trouvera un contenu informatif consacré aux écosystèmes aquatiques de la région parisienne et à leurs relations avec les sociétés humaines. Les thèmes y sont traités de façon à refléter une partie des programmes de sciences de la vie des différents niveaux¹.

Le tableau ci-dessous met en relation les sujets développés dans le livret avec le programme de SVT au **collège**, et présente quelques propositions d'activités associées.

Pour le **lycée**, il existe une très grande diversité de programmes du fait des types de lycée (général, technologique et professionnel), des différentes séries existantes et des options proposées. Cette variété ne nous permet pas de présenter de manière exhaustive les relations entre les programmes et les livrets sur l'assainissement dans un tableau comme cela est fait pour le collège. Toutefois, voici quelques repères. En **seconde**, plusieurs thèmes étudiés se retrouvent dans ce livret consacré à des enjeux écologiques : les conditions de la vie sur Terre ; la nature du vivant ; la biodiversité, résultat et étape de l'évolution (les pollutions de l'eau sont un facteur de modification de la biodiversité). En **première**, sont abordés le problème de la ressource en eau en lien avec l'agriculture (engrais, produits phytosanitaires, etc.) et la biologie des micro-organismes dans le contexte de l'alimentation. En **terminale**, le thème Diversité et complémentarité des métabolismes (écosystèmes et relations trophiques) peut s'illustrer avec les écosystèmes aquatiques de la région parisienne.

6^E

LE PROGRAMME		LE LIVRET	
Partie	Propos	Référence	Proposition d'activités
I Caractéristiques de l'environnement proche et répartition des êtres vivants	Comme dans les milieux terrestres, la répartition des espèces des milieux aquatiques est conditionnée par la variété des habitats. Quelques espèces adaptées aux divers habitats aquatiques de la région parisienne sont présentées.	I. B. 2.	Étude d'un milieu aquatique proche du collège : - observation des habitats présents - recensement des espèces - utilisation de la classification - analyse des aménagements et des pollutions du milieu - réflexion des impacts sur les animaux et végétaux.
	Le peuplement des eaux douces varie au cours des saisons, c'est en particulier la conséquence des caractéristiques comportementales des poissons migrateurs qui peuplent les fleuves.	I. B. 2. II. A. 1.	
II Le peuplement d'un milieu	La pression anthropique sur les milieux aquatiques est de deux principaux ordres : aménagement des cours d'eau (impactant les habitats et la migration piscicole) et rejet de diverses pollutions (par exemple les pesticides).	II.	
V Diversité, parentés et unité des êtres vivants	Pour présenter la diversité des espèces d'eau douce, la classification de Whittaker est ici utilisée.	I. A. 2.	

^{1/} Programmes issus du bulletin officiel n°6 du 28 août 2008 (Ministère de l'Éducation nationale).

5^E

LE PROGRAMME	LE LIVRET		
Partie	Propos	Référence	Proposition d'activités
I Respiration et occupation des milieux de vie	La quantité de dioxygène disponible dans l'eau est un facteur explicatif de la répartition des espèces aquatiques, notamment des poissons.	I. A. 3. I II. B.	Dissection : - observation de l'appareil respiratoire d'une truite - matériel : loupe binoculaire, scalpel, ciseaux de dissection
	La respiration des poissons implique des exigences en dioxygène variable. Outre les paramètres naturels, les actions humaines influent fortement sur la teneur en dioxygène dans l'eau, ce qui en fait un facteur déterminant de la santé des écosystèmes d'eau douce.	I. A. 3.	

4^E

LE PROGRAMME	LE LIVRET		
Partie	Propos	Référence	Proposition d'activités
II Reproduction sexuée et maintien des espèces dans les milieux	Les modifications physiques et les contaminations subies par les cours d'eau, notamment de la région parisienne, ont des conséquences sur la reproduction des poissons, mettant en jeu le maintien de certaines espèces piscicoles.	II. A. 2. II. D. 2.	Étude d'une espèce de poisson (Brochet) : le placer dans la classification, connaître sa biologie, ses comportements, les perturbations de sa reproduction.
IV Relations au sein de l'organisme	Certaines molécules chimiques rejetées dans le milieu naturel ont des comportements proches des hormones et peuvent perturber les fonctions reproductrices de certaines espèces.	II. E. 1	

3^E

LE PROGRAMME	LE LIVRET		
Partie	Propos	Référence	Proposition d'activités
IV Responsabilité humaine en matière de santé et d'environnement	Les activités humaines sont responsables de plusieurs types d'altérations des milieux aquatiques en région parisienne. L'industrie et l'agriculture, mais aussi les populations sont responsables de la dispersion de nombreux polluants dans l'environnement, affectant les espèces riveraines des cours d'eau.	II. C-D	Exposé des élèves sur l'assainissement : le SIAAP peut fournir de la documentation et rencontrer certains élèves. Sujets possibles : pollutions de l'eau et maladies (choléra), altération de la biodiversité...
	La protection des milieux aquatiques est un enjeu majeur et est aujourd'hui prise en compte par la législation. Les milieux font l'objet d'un suivi ; il existe plusieurs indices biologiques afin de mesurer l'altération des milieux.	I. B. 1. III.	

Sommaire

PRÉAMBULE

MODE D'EMPLOI DU LIVRET SCIENCES DE LA VIE ET INSERTION DANS LES PROGRAMMES

I. ÉCOSYSTÈMES AQUATIQUES DE LA RÉGION PARISIENNE 8

A. ÉLÉMENTS D'ÉCOLOGIE

1/ La notion d'hydrosystème	8
2/ La notion de chaîne trophique	9
3/ Les classifications	10

B. LA BIODIVERSITÉ DES EAUX DOUCES FRANCILIENNES

1/ Les procaryotes	11
2/ Les protistes	12
3/ Les végétaux	13
4/ Les champignons	15
5/ Les animaux	16

C. ORIGINE ET RÉPARTITION DES POISSONS D'EAU DOUCE

1/ Origine des biodiversités piscicoles	23
2/ De la source à l'estuaire	23
3/ La répartition piscicole de la Seine	25

II. LES IMPACTS DE L'HOMME SUR LES MILIEUX AQUATIQUES 26

A. MODIFICATIONS PHYSIQUES DES COURS D'EAU ET BIODIVERSITÉ

1/ Aménagements de la Seine	26
2/ Impacts des aménagements sur les écosystèmes	28

B. INTRODUCTIONS D'ESPÈCES ET CONCURRENCE

1/ Causes des introductions	33
2/ Quelques exemples de perte de biodiversité due aux introductions d'espèces	33

C. APPORTS DE MATIÈRE ORGANIQUE ET RESPIRATION AQUATIQUE

1/ Caractéristiques de la matière organique	35
2/ Conséquences sur les conditions de respiration dans les écosystèmes aquatiques	36

D. AZOTE ET PHOSPHORE DANS LES COURS D'EAU ET EUTROPHISATION	
1/ Origines de ces nutriments	38
2/ Conséquences de l'enrichissement d'un cours d'eau en nutriments	39
E. MICROPOLLUANTS DANS L'ENVIRONNEMENT ET TOXICITÉ	
1/ Pollutions toxiques, reflet des activités humaines	40
2/ Comportement des éléments toxiques vis-à-vis des êtres vivants	43

III. LA PROTECTION DES MILIEUX AQUATIQUES 46

A. LES MOYENS DE PROTECTION	
1/ La législation française et européenne	46
2/ Les outils juridiques	47
B. SURVEILLANCE DES COURS D'EAU	
1/ La surveillance des paramètres physico-chimiques et bactériologiques	50
2/ Le suivi de l'Oxygène dissous en Seine (ODES)	52
3/ Les campagnes d'analyses de la qualité hydrobiologique et les indices biologiques	53
• L'Indice biologique global normalisé (IBGN)	53
• L'Indice biologique global adapté aux grands cours d'eau (IBGA)	54
• L'Indice biologique diatomées (IBD)	55
4/ Le suivi de la faune piscicole	56
• Les pêches électriques	56
• Les résultats	57
• L'Indice poisson rivière (IPR)	58
• Le suivi de la contamination des chairs des poissons	60
• Le suivi des poissons au barrage de Poses	61
C. ACTIONS DE PRÉSERVATION DU SIAAP	
1/ Les barrages flottants	62
2/ Les îlots de survie	63
3/ L'aménagement de zones de frayères	65
4/ L'inventaire faune-flore	66
5/ La gestion des espaces verts et naturels	66
6/ La réserve naturelle du bassin de la Bièvre	67
7/ La restauration de cours d'eau "égouts"	68

GLOSSAIRE 69

TABLE DES ILLUSTRATIONS 73

I. Écosystèmes aquatiques de la région parisienne

A. ÉLÉMENTS D'ÉCOLOGIE

Animaux, végétaux et micro-organismes peuplent les différents milieux de notre planète. Ils doivent tous se nourrir, se reproduire et maintenir leur condition corporelle. Pour cela, ils interagissent les uns avec les autres et présentent des caractéristiques adaptées aux conditions de leur milieu de vie. Une espèce animale ou végétale possède une identité. Celle-ci relève de l'ensemble des caractéristiques morphologiques, physiologiques et comportementales communes aux différents individus qui la composent.

L'écologie est l'étude des organismes vivants et des relations qu'ils entretiennent entre eux et avec leur environnement. Les écologues s'appliquent à comprendre l'ordre de la nature, ensemble de règles qui régissent la vie sur notre planète.

Une observation fondamentale traduit l'importance de l'écologie : l'Homme est aussi dépendant de la nature que le sont tous les animaux et végétaux. Chaque être humain doit sa survie aux relations qu'il entretient avec les autres espèces dans un milieu auquel il est adapté².

Différents principes constituent le socle de l'écologie :

- La nature est organisée suivant un mode observable ; on peut y dégager une organisation, ce n'est pas un chaos.
- Le monde naturel est diversifié, complexe et interconnecté.
- La nature est dynamique mais elle est stable et autosuffisante à une échelle de temps suffisamment longue, grâce au recyclage des éléments.
- La nature s'organise à partir de processus physiques et biologiques ; les sciences exactes permettent d'expliquer l'écologie.
- L'organisation de la nature est le fruit d'une évolution par sélection naturelle.

1/ LA NOTION D'HYDROSYSTÈME FLUVIAL

Un hydrosystème fluvial³ est un système écologique complexe constitué par des biotopes (environnement physico-chimique) et des biocénoses (ensemble des populations animales et végétales vivant dans un écosystème). Ces **biotopes** et **biocénoses** peuvent être d'eau courante, d'eau stagnante, semi-aquatiques et terrestres, mais le fonctionnement global de l'hydrosystème fluvial dépend directement du cours actif du fleuve. Les organismes aquatiques et leur environnement physique, chimique et biologique sont en interaction permanente. La composition et la dynamique des peuplements aquatiques dépendent de nombreux facteurs écologiques.

Un système fluvial comprend un **réseau hydrographique** et un **bassin versant**. Les hydrosystèmes sont structurés dans l'espace et dans le temps, on peut ainsi décrire quatre dimensions :

2/ "Écologie", Ricklefs et Miller, Éd. De Boeck, 2005.

3/ "Écosystèmes aquatiques", C. Lévêque, Hachette Supérieur, Les Fondamentaux, 1996.

- **longitudinale** : l'eau s'écoulant selon un gradient continu de l'amont vers l'aval, les zones situées dans la partie inférieure du fleuve dépendent des processus physico-chimiques et biologiques qui se déroulent en amont ;
- **verticale** : des relations étroites unissent les eaux de surface et les eaux souterraines, les nappes souterraines assurent le maintien du débit en période d'étiage, elles se rechargent grâce aux cours d'eau ;
- **transversale** : le fleuve fonctionne avec sa plaine alluviale et ses annexes fluviales ;
- **temporelle** : les systèmes aquatiques sont un héritage sur les plans géomorphologique, écologique et anthropique ; la saisonnalité est un également un facteur explicatif temporel.

2/ LA NOTION DE CHAÎNE TROPHIQUE

Une chaîne trophique décrit les principales interactions entre les espèces impliquées dans un processus particulier de production et de consommation des aliments. Elle permet en outre d'appréhender les transferts d'énergie entre les différents organismes évoluant sur un territoire. Un réseau trophique est la réunion de plusieurs chaînes trophiques associées.

On distingue généralement trois catégories d'organismes.

- **Les producteurs** ou **autotrophes** : les organismes capables de fabriquer de la matière organique sont à la base des chaînes alimentaires (principalement les végétaux photosynthétiques, à partir de particules minérales et d'énergie lumineuse).
- **Les consommateurs** ou **hétérotrophes** : ne savent pas fabriquer de la matière organique et se nourrissent d'êtres vivants, ils sont de trois types (les consommateurs primaires sont les animaux herbivores, les consommateurs secondaires se nourrissent d'animaux herbivores et les consommateurs tertiaires d'animaux carnivores). Lorsqu'un prédateur se trouve au sommet de la chaîne alimentaire et n'est la proie d'aucune autre espèce animale, on parle de superprédateur.
- **Les décomposeurs** : le vivant est autosuffisant, il faut donc un réapprovisionnement des stocks d'éléments nutritifs utilisés par les producteurs primaires. Ce rôle est assuré par des "recycleurs" qui décomposent les organismes ou leurs déchets, fournissant la matière première nécessaire au développement des végétaux.

Une **pyramide trophique** est une représentation graphique permettant de localiser la place tenue par les espèces d'un écosystème donné au sein des différents niveaux trophiques. Ce système présente un élément clef de l'écologie : le nombre d'individus et leur masse cumulée diminuent lorsque le niveau trophique s'élève (figure 1).

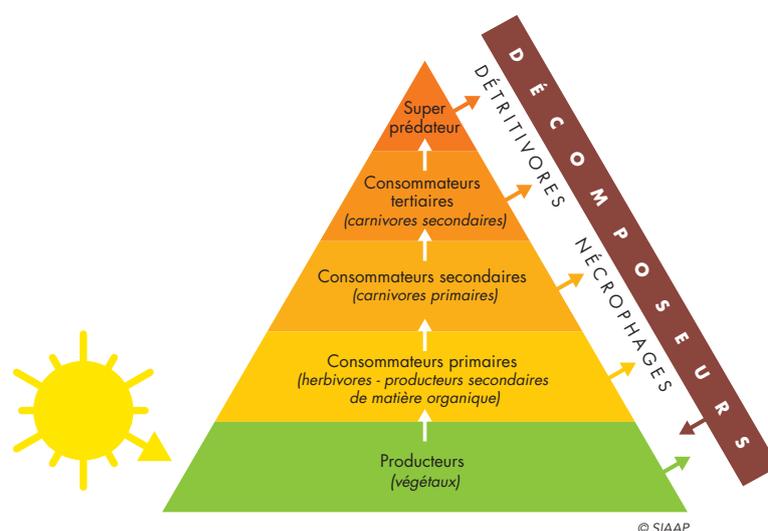


Figure 1 : Pyramide écologique

Les relations d'alimentation entre les différents niveaux trophiques (interactions trophiques) correspondent à des transferts d'énergie. L'énergie contenue dans les individus d'un niveau trophique est en grande partie perdue avant d'avoir été transmise au niveau supérieur. On appelle **rendement écologique** la proportion d'énergie transférée d'un niveau à l'autre.

3/ LES CLASSIFICATIONS

La diversité du monde vivant fait l'objet depuis l'Antiquité de différentes descriptions et classifications: Aristote dès le IV^e siècle av. J.C., puis Linné, Buffon, Lamarck, Cuvier, Haeckel et Darwin aux XVIII^e et XIX^e siècles⁴. Le modèle de classification "traditionnelle" basé sur deux règnes, animal et végétal, a été définitivement abandonné ; il était confronté à de nombreuses difficultés, notamment relatives à la place des champignons et des micro-organismes photosynthétiques.

En 1969, la **classification de Whittaker** propose un système basé sur le mode d'alimentation et comprend **cinq règnes : procaryotes, protistes, champignons, végétaux et animaux**. En 1977, **Woese** révisé cette classification grâce aux nouvelles techniques fondées sur les données moléculaires (séquences d'ARN)⁵, les classifications anciennes étant basées sur des choix considérés comme plus subjectifs de critères de comparaison morphologiques, anatomiques, écologiques ou comportementaux. Il découvre l'existence de deux lignées procaryotes totalement distinctes et non d'une seule comme on le pensait jusqu'alors : les bactéries et les archées (archéobactéries)⁶. Il établit un système de classification à **trois domaines : les bactéries, les archées et les eucaryotes**, ce troisième domaine regroupant les végétaux, les animaux, les protistes et les champignons (*figure 2*)⁷.

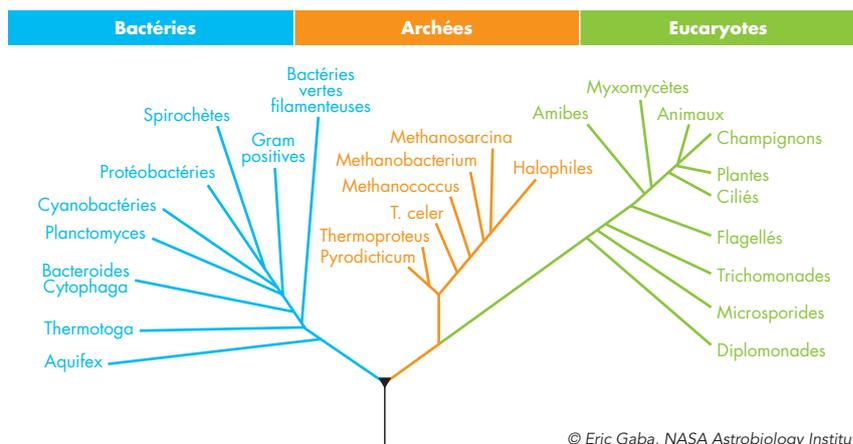


Figure 2 : Arbre phylogénétique universel

© Eric Gaba, NASA Astrobiology Institute

L'utilisation actuelle du **système à six règnes** constitue un assemblage du système classique à cinq règnes et du système à trois domaines de Woese :

- Archées
- Bactéries
- Protistes
- Champignons
- Végétaux
- Animaux.

4/ "Organisation et classification du monde animal", G. Véron, Sciences sup, Dunod, 2006.

5/ "Ribosomal RNA : A key to Phylogeny", adapté de G.J. Olsen et C.R. Woese, The FASEB Journal, 1993.

6/ "Phylogénie moléculaire des gènes viraux impliqués dans le métabolisme et la réplication de l'ADN", thèse de J. Filee, Université Paris-Sud Centre d'Orsay, 2002.

7/ [http://encyclo.voila.fr/wiki/R%C3%A8gne_\(biologie\)](http://encyclo.voila.fr/wiki/R%C3%A8gne_(biologie))

B. BIODIVERSITÉ DES EAUX DOUCES FRANCILIENNES

Le territoire de l'Île-de-France est très marqué par l'influence de l'agglomération parisienne mais est constitué à 80 % d'espaces naturels et ruraux. Cette région est dotée d'un patrimoine naturel remarquable, comme en témoigne la présence d'environ 200 espèces animales et végétales protégées au niveau national ou régional. Située au cœur des influences climatiques océaniques, continentales et méditerranéennes, l'Île-de-France apparaît comme un carrefour de biodiversité. Un grand nombre d'espèces y ont été recensées⁸:

- 1 500 espèces de **végétaux** (sur les 6 000 répertoriées en France, soit 61 % des espèces françaises)
- 228 espèces d'**oiseaux** (sur 375, soit 61 %)
- 18 000 espèces d'**insectes** (sur 35 000, soit 51 %)
- 60 espèces de **mammifères** (sur 121, soit 50 %)
- 17 espèces de **reptiles** (sur 40, soit 30 %)
- 12 espèces d'**amphibiens** (sur 40, soit 30 %)
- 32 espèces de **poissons** (sur 52, soit 62 %).

Parmi ces espèces, certaines ont pour habitat les eaux douces de la région parisienne ou en sont dépendantes pour leur alimentation ou leur reproduction⁹. Elles sont tributaires de l'état des cours d'eau (qualité de l'eau et hydromorphologie), qui conditionne leur présence éventuelle et leur répartition. Afin de présenter et d'illustrer la richesse biologique des habitats d'eau douce de la région parisienne, nous nous attacherons à décrire succinctement plusieurs espèces remarquables en nous appuyant sur la classification en cinq règnes de Whittaker, celle de Woese étant moins adaptée au niveau du collège.

1/ LES PROCARYOTES

Les procaryotes furent les premiers organismes à peupler notre planète, sur laquelle ils ont créé les conditions favorables au développement des autres formes de vie. Organismes **unicellulaires**, ils sont présents sur la quasi-totalité des milieux et leur masse totale dépasse de loin celle de tous les autres organismes cumulée.

On distingue deux grandes lignées, les bactéries et les archéobactéries, dont la séparation est davantage marquée selon les classifications plus récentes, où l'on propose d'y voir deux règnes ou domaines différents. Les procaryotes peuvent être distingués selon leur mode de nutrition. Les procaryotes utilisant le dioxyde de carbone et la lumière sont dits **photo-autotrophes**. Les **chimio-autotrophes** utilisent quant à eux de l'énergie issue d'une transformation chimique. D'autres enfin ingèrent des composés organiques pour se développer, ils sont **hétérotrophes** et donc consommateurs. Ces différents types d'alimentation confèrent aux procaryotes un rôle clef dans tous les écosystèmes.

Les procaryotes des eaux douces

Comprenant une très grande variété d'espèces, les procaryotes constituent un maillon indispensable dans les écosystèmes aquatiques. D'une part, les hétérotrophes font partie des décomposeurs et recyclent la matière organique sous des formes minérales utilisables par les végétaux. D'autre part, les autotrophes produisent des composés organiques à partir d'éléments minéraux, et à ce titre, ils constituent en partie la base des écosystèmes.

8/ Natureparif : <http://www.natureparif.fr/fr/biodiversiteidf>
9/ "La Nature En Île-de-France", G. Feterman, Delachaux et Niestlé, 2007.

• **Les cyanobactéries**

Ces bactéries sont les principaux procaryotes phototrophes producteurs de dioxygène. Elles peuplent la plupart des écosystèmes aquatiques. Autrefois appelées algues bleues, elles prolifèrent dans les plans d'eau très riches en nutriments. Certaines produisent des toxines dangereuses pour l'Homme (Microcystis, Anabaena). Lorsqu'elles se concentrent en surface, donnant une couleur verte, bleue ou orange à l'eau, on parle de fleurs d'eau.

• **Les archéobactéries méthanogènes**

Elles vivent exclusivement dans les milieux dépourvus d'oxygène ; elles abondent dans les marais et les sédiments. Leur énergie provient de la transformation de différents composés chimiques en méthane. Ces bactéries ont un rôle clef dans la digestion des boues d'épuration.

 Pour aller plus loin :
SCIENCES ET TECHNIQUES

> Le traitement des boues

• **Les bactéries nitrifiantes**

Pour se développer, elles tirent leur énergie de l'oxydation de composés azotés. Originaires des sols, elles sont présentes dans les eaux douces et les égouts (où elles dégradent l'ammoniaque issu des urines), elles sont utilisées en épuration.

 Pour aller plus loin :
SCIENCES ET TECHNIQUES

> Le traitement de l'azote

2/ **LES PROTISTES**

Ce règne très hétérogène regroupe l'ensemble des organismes **eucaryotes** qui ne sont ni des végétaux, ni des champignons, ni des animaux. On les considère comme les plus simples des organismes eucaryotes. Ils sont généralement capables de se déplacer grâce à des flagelles qu'ils possèdent à un moment ou un autre de leur cycle de développement. Selon une approche écologique, leur mode de nutrition permet de distinguer trois groupes :

- les **mycétozoaires** se nourrissent par absorption
- les **algues** sont les protistes photosynthétiques
- les **protozoaires** ingèrent leur nourriture. Du fait de leur mode de nutrition et de leur mobilité, ces derniers sont aujourd'hui généralement classés parmi les animaux.

Les protistes des eaux douces

La plupart des protistes sont des organismes aquatiques et peuplent la majorité des milieux où il y a de l'eau. Ils constituent en particulier une grande partie du phytoplancton qui regroupe les algues et bactéries photosynthétiques qui dérivent (ou nagent faiblement) près de la surface de l'eau. Les protistes des eaux douces les plus notables sont les algues. La définition du terme algue utilisée ici exclut les organismes procaryotes comme les cyanobactéries, ainsi que les végétaux aquatiques, et inclut les algues adaptées à la vie littorale. On distingue plusieurs groupes d'**algues**.

• **Les straménophiles**

L'origine de ce groupe d'algues se trouve probablement dans l'absorption de l'organe photosynthétique (plaste) d'une algue rouge par un protiste hétérotrophe. Abondants dans les eaux douces et salées, ils comprennent :

- les diatomées (organismes unicellulaires avec une coque en silice)
- les algues dorées (Chrysophytes, principalement dulcicoles)
- les algues brunes (Phaeocystis, principalement marines).

- **Les algues rouges** (*Rhodophycées*)

Principalement marines, quelques espèces vivent néanmoins en eau douce. Elles doivent leur couleur à un pigment, la phycoérythrine. Elles sont aussi caractérisées par l'absence de flagelle à tous les stades de leur développement.

- **Les algues vertes** (*Chlorophytes*)

Le pigment est ici la chlorophylle. On distingue les ulvophytes et les charophytes (cadre sur leur place particulière). Parmi les ulvophytes, les chlorophycées sont d'une grande variété. Les espèces unicellulaires de ce groupe ont colonisé de nombreux milieux humides ; certaines vivent en symbiose avec des champignons (constitution de lichens) ou des animaux. On trouve aussi des espèces filamenteuses de grandes tailles dans les étangs.

- **Les algues unicellulaires** (*Euglènes, Cryptophytes, Dinophytes, etc.*)

LA PLACE PARTICULIÈRE DES CHAROPHYTES

Les Charophytes, présents dans les eaux douces et saumâtres, sont les plus proches parents des végétaux terrestres. Ces algues vertes présentent de nombreuses caractéristiques physiologiques communes avec les plantes, notamment vis-à-vis de la reproduction et de la production photosynthétique (possession de chloroplastes, organites où se déroule la photosynthèse). Malgré ces caractéristiques communes, les Charophytes se distinguent des espèces de végétaux sur de nombreux points ; leur classement parmi les algues vertes n'est donc pas discuté pour cet organisme qui a un ancêtre commun avec les végétaux.

3/ LES VÉGÉTAUX

Les végétaux sont des organismes photosynthétiques adaptés au **milieu terrestre**. Ils trouvent les éléments nécessaires à leur développement en deux endroits bien distincts. Dans la plupart des cas, l'eau et les minéraux sont puisés sous la surface du sol, alors que le dioxyde de carbone et l'énergie lumineuse sont captés au-dessus du sol. Ainsi, les croissances souterraine (racines) et aérienne sont bien différenciées.

C'est le mode de reproduction des végétaux qui permet de les distinguer des autres organismes autotrophes et des protistes. Leur développement s'effectue à partir d'un embryon végétal, apparaissant après la fécondation d'une cellule-œuf. L'embryon dépend, dans les premiers stades de son développement, de réserves d'origine maternelle.

Les végétaux des eaux douces

Bien que rattachés par définition au milieu terrestre, les végétaux sont néanmoins très présents dans les écosystèmes aquatiques ou à proximité immédiate. Dans les cours d'eau, une zonation écologique transversale peut être examinée pour les décrire. Les zones marginales au voisinage des rives sont colonisables par les végétaux, tandis que la zone médiane est parcourue par un courant freinant ou interdisant leur installation.

BRYOPHYTES (*dépendantes des milieux humides : mousses, sphaignes*)

Les **mousses** sont des végétaux dénués de racines et de tissus conducteurs, et sont, à ce titre, passives vis-à-vis de la captation d'eau et de minéraux qui s'effectue à leur surface. Elles sont fixées au substrat par des crampons qui leur permettent de résister à de fortes vitesses de courant. La majorité des mousses est intolérante à la submersion continue, le lit mineur en est donc dépourvu.

Par contre, les zones fréquemment inondées leur offrent un habitat favorable où elles sont régulièrement débarrassées du sable et de la boue, favorisant ainsi leur photosynthèse¹⁰. Elles poussent lentement ; par conséquent, elles se développent sur des espaces peu sollicités par les autres végétaux, principalement sur les rives, où elles constituent un habitat privilégié pour les algues et invertébrés du cours d'eau. Pendant les périodes de basses eaux, elles se dessèchent et reprennent leur activité en période plus favorable. Elles se regroupent d'ailleurs en peuplements très denses pour conserver la légère humidité nécessaire à leur survie¹¹.

VÉGÉTAUX VASCULAIRES

Cryptogames vasculaires (sans fleurs : fougères, prêles, lycopodes)

Les **prêles**, qui appartiennent au même groupe que les fougères, comptent de nombreuses espèces et poussent dans les zones humides. La Prêle aquatique (*Equisetum fluviatile*) est la seule prêle pouvant pousser dans les zones constamment inondées. Ses racines profondes lui permettent de s'implanter dans les zones où l'eau circule. Sa présence ralentit l'eau et favorise l'implantation d'autres espèces¹².

Spermatophytes (ou Phanérogames, à fleurs et graines)

- **Gymnospermes** (graines nues : conifères, pas d'espèce aquatique)

- **Angiospermes** (graines enfermées dans un fruit). Au sein de ce grand groupe, on peut classer les végétaux aquatiques selon leur comportement vis-à-vis de l'eau : hydrophytes, hélrophytes ou terrestres sur la berge.

• Végétaux aquatiques (hydrophytes)

Leur vie est impossible en dehors du plan d'eau. L'existence de lacunes aérifères dans leurs tissus (aérenchyme) les rend moins denses que le milieu environnant, ce qui leur permet de se maintenir entre deux eaux ou de flotter en surface. En fonction du degré de fixation, on distinguera des hydrophytes nageants (cas des Lentilles d'eau) et des hydrophytes radicants. La seconde catégorie, dite végétation flottante, compte les renoncules, nénuphars, potamots, myriophylles ou encore grenouillettes¹³. Ces espèces se développent depuis le fond des plans d'eau et forment un tapis en surface pendant l'été. L'une d'elles, la Vallisnérie (*Valisneria spiralis*) avec ses feuilles allongées, provient de plantes d'aquariums rejetées dans la Seine¹⁴.

Renoncule flottante

La Renoncule flottante s'enracine efficacement au fond des rivières à fort courant. Elle porte des feuilles flottantes lobées et des feuilles submergées formant de longs filaments qui ondulent dans le courant.



Figure 3 : Renoncule flottante (*Ranunculus fluitans*) ▶

© Biosphoto / Bjorn Svensson / Science Photo Library



© Biosphoto / David Allemand & Christophe Sidamon-Pesson

Nénuphar jaune

Le Nénuphar jaune se développe dans les eaux calmes où ses tiges s'enracinent dans la vase. Ses grandes feuilles flottantes forment un radeau végétal.

◀ Figure 4 : Nénuphar jaune (*Nuphar lutea*)

10/ "Die Moose Baden-Württembergs", Nebel & Philippi, Ulmer, 2000.

11/ "Aménagement piscicole des eaux douces" - 5^{ème} édition, J. Arrignon, Lavoisier Tec & Doc, 1998.

12/ "Écologie des eaux courantes", E. Angelier, Tec & Doc, 2000.

13/ "Faune et flore des berges de la Seine", Naturoscope de Puteaux : www.association-espaces.org/IMG/pdf/plaquette_Berges_Puteaux.pdf

14/ "La biodiversité de la Seine et des canaux à Paris", La Ville de Paris : www.paris.fr/portail/loisirs/Portal.lut?page_id=9233&document_type_id=5&document_id=85229&portlet_id=22522

• Végétaux semi-aquatiques (hélrophytes)

Ils forment une vaste catégorie comprenant des végétaux plus indépendants par rapport à l'environnement aqueux que les précédents. Leur système racinaire est la plupart du temps submergé, mais leurs tiges, fleurs et feuilles restent en général hors de l'eau. La principale différence avec les hydrophytes réside en l'élaboration d'un appareil reproducteur totalement aérien. On trouve ainsi les Carex, Joncs (*Juncus effusus* et *conglomeratus*), Roseaux (Phragmite ; Massette : *Typha latifolia*), Baldingère faux-roseau (*Phalaris arundinacea*), Iris d'eau (*Iris pseudoacorus*).



© Biosphoto / Philippe Van Dorsseleer

Phragmite

Le Roseau est la plante filtrante la plus utilisée au monde pour dépolluer les eaux usées, que cela soit sous forme de filtre alluvionnaire végétalisé ou sous forme de bassins plantés. Transportant de l'oxygène pur dans ses rhizomes, elle est très performante pour traiter les charges organiques : pollutions chimiques (DCO), pollutions organiques (DBO5), matières en suspension... Elle est aussi désormais utilisée en phytoremédiation pour dépolluer les boues d'épuration.

◀ Figure 5 : Phragmite (*Phragmites australis*)

▲ Pour aller plus loin :
SCIENCES ET TECHNIQUES

> Les paramètres de pollution des eaux usées

• Ripisylve

C'est une formation végétale linéaire s'étalant sur 20 à 30 mètres de large le long d'un cours d'eau et constituant une mosaïque complexe comprenant **trois strates** principales : herbacée, arbustive et arborée. Ces écosystèmes forestiers sont inondés de façon régulière (pour les ripisylves proprement dites) ou exceptionnelle (pour les forêts alluviales). La ripisylve correspond à la communauté de bois tendres (saules, peupliers tremble et noir, aulnes), la **forêt alluviale** à la communauté de bois durs (chênes, frênes, érables). La ripisylve est un **écotone** car elle est située à l'interface entre les écosystèmes terrestres et fluviaux. Elle assure de nombreuses fonctions écologiques, hydrauliques et socio-économiques (cadre sur les fonctions de la ripisylve p 31).



© SIAAP

Figure 6 : Ripisylve de la Seine (Maisons-Laffitte - 78) ▶

4/ LES CHAMPIGNONS

Le règne fongique (ou des Fungi) comprend les organismes eucaryotes, hétérotrophes et se reproduisant par **spores**. Les champignons ont longtemps été classés parmi les végétaux du fait de leur immobilité. Aujourd'hui, les méthodes de classification moléculaire révèlent même qu'ils sont plus proches des animaux que des végétaux. Ils sont caractérisés par leur mode de nutrition par **absorption**, on distingue quatre types de champignons : un **saprophyte** se nourrit de matière organique morte ou en décomposition ; un **parasite** vit aux dépens d'un être vivant ; un **commensal** tire profit de son hôte sans nuire à ce dernier ; enfin, un champignon peut vivre en **symbiose** avec un autre être vivant (cas des lichens).

La présence des champignons est fondamentale dans les écosystèmes et plus particulièrement dans les chaînes alimentaires. Outre leur fonction de recyclage de la matière organique en décomposition, ils développent de nombreuses interactions avec les autres organismes. Ils sont responsables de 80 % des maladies chez les végétaux (par exemple le mildiou) pour lesquels ils sont néanmoins indispensables. L'association symbiotique entre les champignons et les racines des plantes facilite l'absorption d'eau, de carbone organique et de minéraux par les plantes, c'est la **mycorhize**.

Les champignons des eaux douces

Si les champignons affectionnent les milieux humides, ils sont pour la plupart aérobies et ne disposent pas d'organes adaptés à la respiration subaquatique. Certains champignons se développent cependant dans les eaux douces.

• Les chytrides

Ce groupe rassemble la majorité des champignons aquatiques. Ils peuvent être, selon les espèces, saprophytes ou parasites. Ces champignons ne forment pas de réel mycélium et certains sont unicellulaires. Ils peuvent être de redoutables parasites, notamment chez les amphibiens.

• Les champignons filamenteux

Aussi appelés hyphomycètes aquatiques, ils colonisent systématiquement les feuilles mortes qui échouent dans les petits cours d'eau et les dégradent¹⁵.

5/ LES ANIMAUX

Le règne animal est très diversifié. Il est composé d'organismes multicellulaires eucaryotes hétérotrophes, caractérisés par une certaine complexité. Celle-ci va de pair avec le réseau d'interaction qui les lie entre eux, avec les autres règnes et avec l'environnement physique.

Les animaux des eaux douces

En Europe, on estime qu'il existe 6 000 espèces d'eau douce, dont un sixième vit dans les eaux courantes. La répartition des différents animaux vivant dans les eaux douces est la suivante¹⁶ :

- protozoaires : 22 %
- arachnides : 7 %
- éponges : 0,3 %
- crustacés : 5 %
- vers : 25 %
- insectes : 37 %
- mollusques : 2 %
- poissons : 2 %

LES PROTOZOAIRES

Organismes unicellulaires de moins d'un millimètre pouvant s'associer en colonies, ils forment une grande partie du **plancton** et sont hétérotrophes, se nourrissant de bactéries ou de molécules organiques dissoutes. Leurs modes de nutrition et de déplacement sont très variés. Ce sont en fait des protistes.

LES ÉPONGES (embranchement des Porifera ou Spongiaires)

Ces animaux semblant inertes se présentent comme des sacs percés de pores. Ce sont des organismes **filtreurs** qui utilisent la matière organique en suspension dans l'eau.

Pour aller plus loin :
GÉOGRAPHIE

> Les protozoaires responsables
de maladies hydriques

¹⁵ E. Chauvet et J. Merce, "Hyphomycètes aquatiques : importance dans la décomposition des litières", Revue des sciences de l'eau, Volume 1, numéro 3, 1988, p. 203-216, URI : <http://id.erudit.org/iderudit/705009ar>.

¹⁶ "Cours d'eau et indices biologiques - pollution, méthodes", IBGN, C. Chauvin, B. Génin, F. Ménard, 2003.

LES VERS

Le terme ver peut concerner une grande variété d'embranchements présents dans les milieux aquatiques, regroupant toutes les formes animales molles, à corps étroit et allongé, et dépourvues de membres. On distingue ainsi :

- les vers **plats** (les Plathelminthes, dont les Planaires)
- les vers **ronds** (les Nématodes)
- les vers **annelés** (les Annélides, dont les Sangsues).

Planaires

Les Planaires sont des vers plats de petite taille (environ 1 cm) semblant glisser sur les objets immergés. Elles peuvent évoluer dans une grande variété de milieux. Dans les eaux douces, on peut les trouver sous les cailloux. Généralement carnivores, ces vers se nourrissent de larves et de petits invertébrés, et sont occasionnellement nécrophages. Ils peuvent être parasites. Les Planaires présentent la caractéristique de pouvoir régénérer tous leurs tissus.

Figure 7 : Planaire blanche

(*Dendrocoelum lacteum* observée en laboratoire) ►



© Biosphoto / Alain Berly

LES MOLLUSQUES

Ils sont caractérisés par leur corps mou souvent protégé d'une **coquille** de calcaire, avec un **pieu** servant à se déplacer. Dans les eaux douces, on trouve deux classes parmi les six existantes :

- les **Gastéropodes** (Limnées, Planorbés)
- les **Bivalves** (Anodonte, Moule zébrée, Mulette).



© Paul Starosta

Limnées

Les Limnées sont des escargots d'eau douce. Ces gastéropodes pulmonés doivent retourner à la surface pour respirer. Elles évoluent sur les plantes aquatiques où elles consomment des algues et des bactéries.

◀ Figure 8 : Limnée (*Limnea auricularia*)

LES ARACHNIDES

Ce sont des **arthropodes** qui se distinguent par leurs **quatre paires** d'appendices. Parmi les arachnides aquatiques, on compte les araignées (Dolomède, Argyronète) et les acariens aquatiques (ou Hydracariens).

LES CRUSTACÉS

Ces **arthropodes**, pour la plupart aquatiques, sont caractérisés par une **tête**, un **thorax** et un **abdomen**, ainsi qu'un grand nombre d'appendices sur tout le corps revêtu d'un **exosquelette** généralement constitué de carbonate de calcium. Les représentants dulçaquicoles les plus connus sont la Daphnie (ou puce d'eau), le Gammare, la Caradine (ou crevette d'eau douce), les Cyclopes.



© Biosphoto / Colin Milkins / OSF

Daphnies

Les Daphnies font partie du zooplancton et abondent majoritairement dans les eaux très calmes ou stagnantes (bras morts, annexes hydrauliques). Leur surnom de puce d'eau est dû à leur mode de déplacement par impulsions successives. Du fait de leur sensibilité, elles jouent un rôle important en écotoxicité car elles permettent de détecter certains éléments toxiques dans l'eau.

◀ **Figure 9 : Daphnie** (*Daphnia magna*)

Gammares

Les Gammares, mesurant environ 1 cm, vivent sous les pierres des ruisseaux et mares. Ils se nourrissent d'algues et de végétaux aquatiques. Ce sont des organismes-clés des milieux aquatiques et sont pour cela utilisés en tant que bioindicateurs de la qualité de l'eau. En forte régression, plusieurs espèces sont considérées comme vulnérables ou en danger de disparition. Ils sont consommés par les truites dont ils sont responsables de la "saumonisation", la coloration rosée de la chair.



© Paul Starosta

Figure 10 : Gammare (*Gammarus pulex*) ▶



© Biosphoto / Bruno Cavignaux

Caridines

La Caridine, communément appelée crevette d'eau douce et mesurant entre 2 et 4 cm, apprécie les cours d'eau de plaine. Elle s'alimente sur la végétation des pierres à faible profondeur et se réfugie dans les herbiers et sous les berges creuses. Cette espèce montre une dynamique remarquable dans l'extension de son aire de répartition, preuve biologique possible des modifications climatiques¹⁷.

◀ **Figure 11 : Caridine** (*Atyaephyra desmaresti*)

17/ "La Caridine, crevette d'eau douce indicative du changement de climat", Herold J.-P., Bull. Soc. Hist. Nat. Doubs (2004-2005) 90, 43 - 46

LES INSECTES

Ce sont des **arthropodes à six pattes** dont le corps est divisé en trois parties : la tête, le thorax et l'abdomen. Moins de 3 % des espèces d'insectes vivent dans les milieux aquatiques, mais beaucoup passent toute leur vie au contact de l'eau. La plupart sont **aquatiques à l'état larvaire**, puis terrestres et capables de voler à l'âge adulte, comme les Odonates (Libellules, Demoiselles), Éphémères, Perles, Moustiques. Les habitudes alimentaires sont des plus diverses : bactéries et particules en suspension dans l'eau (pour les larves de moustiques), végétaux aquatiques (pour les coléoptères), proies vivantes (pour les larves de libellules).



© Paul Starosta

Odonates

L'ordre des Odonates regroupe les demoiselles et les libellules. 57 espèces d'odonates ont été observées en Île-de-France entre 2000 et 2010¹⁸. Si les étangs et les marais sont leur biotope de prédilection, certaines espèces évoluent à proximité des cours d'eau. Les Odonates passent la majorité de leur vie sous une forme larvaire aquatique. Ces larves sont de redoutables prédateurs s'attaquant à de petits insectes, des alevins ou des têtards. On leur prête une grande importance dans la régulation des écosystèmes aquatiques. Adultes, ils se nourrissent de petits insectes capturés en plein vol.

◀ **Figure 12 : Pontes de demoiselles (Pyrrhosoma nymphula)**

Éphémères

Les Éphémères sont des insectes aquatiques aux ailes dressées sur le dos passant la majorité de leur existence sous leur forme larvaire. Selon l'écoulement et la pureté de l'eau, les espèces présentes varient fortement, en eau courante, le genre Epeorus est le plus fréquent. Très plats, ces insectes se fixent sur les pierres. La larve est végétarienne, elle racle les pierres. Quant à l'adulte, il ne vit que très peu de temps et n'a pas de bouche pour se nourrir.



© Paul Starosta

Figure 13 : Éphémère adulte (Ephemera danica) ▶



© Paul Starosta

Perles

Les Perles sont inféodées aux cours d'eau à fort courant. À l'état larvaire, elles se nourrissent d'algues et de lichens, et sont très sensibles au taux en dioxygène dissous de l'eau. Les adultes, ailés et au corps mou allongé, ne volent que sur de brèves distances et se posent sur les pierres et branches émergeant de l'eau. Il ne semble pas que les perles se nourrissent à l'état adulte, elles se consacrent à leur reproduction.

◀ **Figure 14 : Larve de perle (Perla cephalotes)**

Moustique commun

Le Moustique commun est bien connu de tous dans l'hémisphère Nord pour les piqûres que nous inflige sa femelle ; elle a besoin de sang des animaux à sang chaud pour produire ses œufs. Le mâle se nourrit du suc et de la sève des plantes. Le Moustique commun apprécie les eaux stagnantes ou à faible courant, à température douce. Sa larve fait partie du zooplancton et se nourrit de micro-organismes dans l'eau.



© Paul Starosta

Figure 15 : Moustique commun (Culex pipiens) ▶

LES POISSONS

Vertébrés vivant dans l'eau, ils sont caractérisés par la présence d'une mâchoire, de nageoires et d'arcs branchiaux ; leur corps est généralement recouvert d'écaillés. On distingue classiquement les poissons **cartilagineux** (Chondrichthyens : Requin, Raie) et les poissons **osseux** (Ostéichthyens : l'immense majorité des poissons). Le groupe des poissons ne constitue pas un clade car il ne rassemble pas toute la descendance de l'ancêtre commun. Les poissons appartiennent à des familles, tels les cyprinidés, percidés, centrarchidés, salmonidés, ésofidés, anguillidés¹⁹.

Carpe

La Carpe affectionne les cours d'eau larges et très calmes où la végétation est dense, et vit sur les sols sablo-vaseux. Elle présente la particularité de tolérer de faibles taux d'oxygène dissous. Omnivore, la Carpe fouille le fond et la vase pour se nourrir de débris végétaux, larves, vers et insectes. Originnaire d'Asie, elle fut introduite pour élevage et consommation sous l'Antiquité par les Romains.

Figure 16 : Carpe commune (*Cyprinus carpio*) ►



© Biosphoto / Wolfgang Poelzer / WaterFrame



© Biosphoto / Michel Loup

Perche

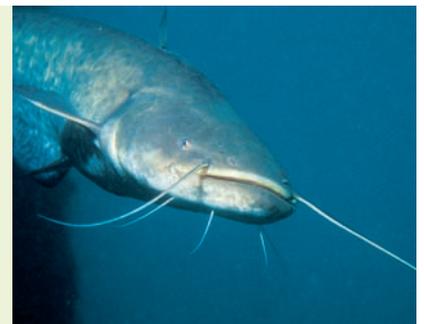
La Perche colonise les eaux à courant moyen, ainsi que les étangs et les lacs. Elle recherche les fonds offrant des abris comme des pierres, des rochers ou encore des herbiers. Grégaire, elle vit en bancs denses. Ce poisson carnassier se nourrit de vers, crustacés et larves d'insectes, mais c'est aussi un prédateur dont la taille de la bouche permet de s'attaquer à de nombreux petits poissons.

◀ Figure 17 : Perche fluviatile sous des nénuphars (*Perca fluviatilis*)

Silure glane

Le Silure fuit la lumière et apprécie les eaux calmes, troubles et profondes. Carnassier opportuniste, il chasse au crépuscule et la nuit, et se révèle un prédateur extrêmement vorace s'attaquant à toutes les espèces de poissons, mais aussi à des amphibiens, des écrevisses, des oiseaux ou des petits mammifères, voire des rats musqués et des ragondins.

Figure 18 : Silure glane (*Silurus glanis*) ►



© Biosphoto / Borut Furlan / WaterFrame

• Les mammifères, oiseaux, reptiles et amphibiens.

Si aucun d'entre eux n'effectue la totalité de son cycle de vie dans l'eau, ces animaux sont nombreux à dépendre des masses d'eau. Les écosystèmes d'eau douce sont de diverses manières liés aux milieux terrestres environnants : le Martin-Pêcheur trouve sa nourriture dans les cours d'eau, le Ragondin creuse son terrier le long des berges, les premiers stades de développement des grenouilles sont exclusivement aquatiques.

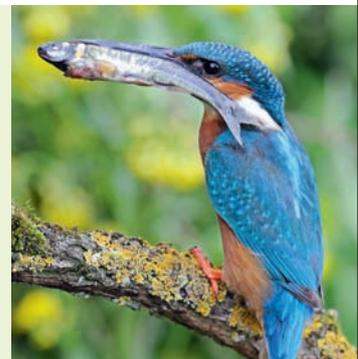
19/ Cf. note n°11

LES OISEAUX²⁰ (classe des Aves)

L'avifaune aquatique, au sommet des chaînes alimentaires, comprend divers prédateurs de poissons, insectes, crevettes et autres petits animaux aquatiques, y compris des mammifères pour certains : Martin-Pêcheurs, Bergeronnettes, Hérons, Grèbes, Canards, Sarcelles, Cormorans, Mouettes et Goélands.

Martin-Pêcheur européen

Le Martin-Pêcheur se rencontre au bord des eaux calmes, propres et peu profondes. Il affectionne les eaux claires pour un bon repérage des proies. Il niche dans un terrier creusé habituellement dans la berge meuble d'un cours d'eau. Ce carnivore se nourrit principalement de petits poissons, tels que les Vairons, Épinoches, Chabots, Truites, Vandoises et Loches franches. Il est rare en Île-de-France, où ses effectifs ne dépassaient pas 100 à 150 couples en 1995²¹. Cet oiseau ne tolère pas les territoires fortement urbanisés et la pollution des rivières.



© Biosphoto / Dominique Delfino

Figure 19 : Martin-Pêcheur (*Alcedo atthis*) ayant capturé un Vairon ►



© Biosphoto / Dominique Delfino

Bergeronnette des ruisseaux

La Bergeronnette des ruisseaux niche à proximité des cours d'eau vive. Elle choisit un creux dans les pierres et racines du rivage, ou élit domicile dans le creux d'une construction (pont, moulin). Carnivore, la Bergeronnette des ruisseaux se nourrit d'insectes, de larves et de divers petits animaux aquatiques qu'elle débusque en parcourant les rivages des cours d'eau. Elle est largement répandue en France. Bien qu'elle préfère les cours d'eau de haute altitude, on peut la trouver sur les bords de Seine car elle est très résistante aux pressions anthropiques ; elle s'est même adaptée à la vie parisienne et à ses canaux près desquels elle est capable de se reproduire.

◀ Figure 20 : Bergeronnette des ruisseaux (*Motacilla cinerea*)

LES AMPHIBIENS

La plupart des amphibiens ont une phase de vie larvaire aquatique et une phase de vie terrestre. Entre les deux, ils effectuent une métamorphose du stade têtard au stade adulte. On distingue principalement deux groupes :

- les **Anoures**. Pourvus de membres postérieurs adaptés au saut mais sans queue, les adultes peuvent vivre assez éloignés du monde aquatique (grenouilles et crapauds) ;
- les **Urodèles**. Avec un corps allongé, une longue queue et quatre petites pattes, ils sont quant à eux très dépendants du milieu aquatique à l'âge adulte (tritons et salamandres).

Grenouille verte

La Grenouille verte s'installe préférentiellement près des marais et des étangs, ainsi que des cours d'eau dont le courant est très lent. Peu exigeante quant au milieu, elle est assez commune. Amphibien carnivore, elle se nourrit d'insectes, de petits crustacés, de vers, de larves d'amphibiens et de pontes de poissons. Ses principaux prédateurs sont le Brochet, les Hérons ou encore les Couleuvres.



© Biosphoto / Jean-François Hellio & Nicolas Van Ingen

Figure 21 : Grenouille verte couverte de lentilles d'eau (*Rana kl. esculenta*) ►

LES REPTILES

Animaux terrestres à température variable (poïkilothermes et ectothermes), certains reptiles sont néanmoins très dépendants des milieux aquatiques. Leur corps est recouvert par des écailles. En France, ils sont représentés par deux ordres :

- les **Squamates** (lézards, serpents : Couleuvre vipérine, Couleuvre à collier)
- les **Testudines** (tortues : Tortue de Floride, introduite et envahissante).



© Biosphoto / Daniel Heuclin

Couleuvre vipérine

La Couleuvre vipérine est un serpent non venimeux vivant au bord de ruisseaux ou d'étangs afin de chasser dans l'eau. Carnivore, elle se nourrit d'amphibiens et de poissons.

◀ **Figure 22 : Couleuvre vipérine (*Natrix maura*) avalant un Gardon**

LES MAMMIFÈRES

Vivipares caractérisés notamment par l'allaitement des jeunes, les mammifères peuvent vivre à proximité des milieux aquatiques, on trouve notamment :

- les **chauves-souris** (Murin de Daubenton)
- les **insectivores** (Musaraignes aquatique et pygmée)
- les **rongeurs** (Campagnol aquatique, Rat musqué, Ragondin)
- les **carnivores** (la Loutre a disparu de la région parisienne et a subi un important déclin partout en France au cours du XX^e siècle).

Ragondin

Le Ragondin est un rongeur de grande taille peuplant les rives des cours d'eau lents bordés d'une végétation dense. Cet herbivore adapte facilement son régime à son milieu de vie. Il peut ainsi se nourrir de céréales, de racines ou d'herbes. Originaire d'Amérique du Sud, il a été introduit en Europe où il était élevé pour sa fourrure. Ponctuellement libéré dans la nature, le Ragondin a colonisé une grande partie de la France. Creusant des terriers de grande dimension dans les berges, il est responsable de l'altération des cours d'eau en accélérant l'érosion des berges.



Figure 23 : Ragondin (*Myocastor coypus*) ▶

© Biosphoto / Thomas Kitchin & Victoria Hurst / Photoshot

C. ORIGINE ET RÉPARTITION DES POISSONS D'EAU DOUCE

1/ ORIGINE DES BIODIVERSITÉS PISCICOLES

Contrairement aux animaux terrestres qui peuvent migrer librement, les poissons et les autres animaux aquatiques dépendent du réseau hydrographique pour se déplacer. La répartition des poissons à la surface du globe est ainsi très inégale, notamment du fait des histoires hydrologiques et climatiques locales.

Après les premiers peuplements des cours d'eau par les poissons il y a 23 millions d'années, l'Europe a subi une intense glaciation il y a moins de 3 millions d'années. Les poissons, bloqués par les chaînes montagneuses ou les eaux maritimes, n'ont pu échapper au refroidissement des eaux douces. Seules les espèces très résistantes aux eaux froides ont survécu à cette époque glaciaire. Les poissons migrateurs – anguilles, esturgeons, saumons et truites – ont subsisté en Europe de l'Ouest. Par la suite, cette zone a été recolonisée par les espèces ayant survécu dans le bassin du Danube. Suite aux épisodes glaciaires, on estime à une trentaine le nombre d'espèces de poissons dans le bassin de la Seine : c'est le "**fonds originel**".

Cette faune des eaux douces est plus riche sur le continent américain à latitude égale. On dénombre 193 espèces de poissons en Europe de l'Ouest contre 950 en Amérique du Nord ; cela s'explique en partie par le fait que le bassin du Mississippi n'a jamais été gelé.

En Europe, le "réservoir" de biodiversité constitué par le bassin du Danube pendant la dernière glaciation a largement marqué la répartition des poissons. Ainsi, le nombre d'espèces diminue d'Est en Ouest. On dénombre 100 espèces dans le bassin du Danube, 60 dans celui du Rhin, 58 dans le Rhône, 52 dans la Seine et 50 dans la Loire²².

2/ DE LA SOURCE À L'ESTUAIRE

De la tête de bassin vers l'estuaire, un cours d'eau change d'aspect et différentes caractéristiques physiques évoluent. Ainsi, la taille des particules transportées dans l'eau et la pente diminuent de l'amont vers l'aval ; parallèlement, la largeur du lit et la profondeur du cours d'eau augmentent au gré des confluences successives. En conséquence, l'écoulement varie : la vitesse du courant diminue tandis que la hauteur d'eau augmente.

Avec ces variations, les conditions de vie changent et, avec elles, le type de peuplement du milieu aquatique. On est ainsi capable de décrire une distribution théorique des espèces animales (invertébrés ou poissons) le long d'un cours d'eau en l'absence de perturbation.

La **zonation piscicole** se rapporte au profil en long d'un cours d'eau²³. Selon Huet (1949), des eaux courantes comparables (pente et profondeur du cours d'eau, largeur du lit) ont des caractères biologiques et des populations piscicoles analogues. La classification de Huet a été complétée par Verneaux (1974), qui y a intégré des paramètres tels que la température et la dureté de l'eau, et la distance aux sources²⁴.

22/ CEMAGREF (Institut de recherche en sciences et technologies pour l'environnement) : www-old.cemagref.fr/informations/Ex-rechr/systemes-aqua/origines-poissons/origines-exemple.htm

23/ Cf. note n°11

24/ ONEMA (Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques) : http://www.onema.fr/IMG/Hydromorphologie/15_conn11_typo_l_vbat.pdf

Huet distingue quatre zones, la zone de l'estuaire a ensuite été rajoutée. Ces zones sont désignées par une espèce de poisson caractéristique du biotope (figure 24).



La zone à Truite est située en tête de bassin, à une altitude élevée. Les ruisseaux et rivières d'altitude sont étroits, peu profonds et en forte pente, caractérisés par un fond de pierre ou de graviers et une absence de végétaux. L'écoulement rapide et turbulent est capable de déplacer des particules de grosse dimension. Les températures sont basses (inférieures à 10°C) et le taux d'oxygène dissous est élevé.

La zone à Ombre présente un courant rapide et des températures relativement basses. Le fond peut être sableux et accueillir quelques végétaux.



Dans **la zone à Barbeau**, les pentes sont plus faibles et les courants plus lents, conduisant à la formation éventuelle de méandres. Le taux d'oxygène est encore élevé dans cette zone où la température peut atteindre les 20°C.

Dans **la zone à Brème**, le lit des cours d'eau est très large et très profond, le courant est alors très faible et la température s'élève notablement en été. Sur le fond tapissé de vase se développe une végétation dense ; le taux d'oxygène est bas.



La zone à Flet correspond à l'estuaire. Les pentes sont faibles et on observe une grande diversité de substrats. Les eaux sont saumâtres avec une salinité variable. Une zone très turbide, le bouchon vaseux, se déplace au gré des marées.

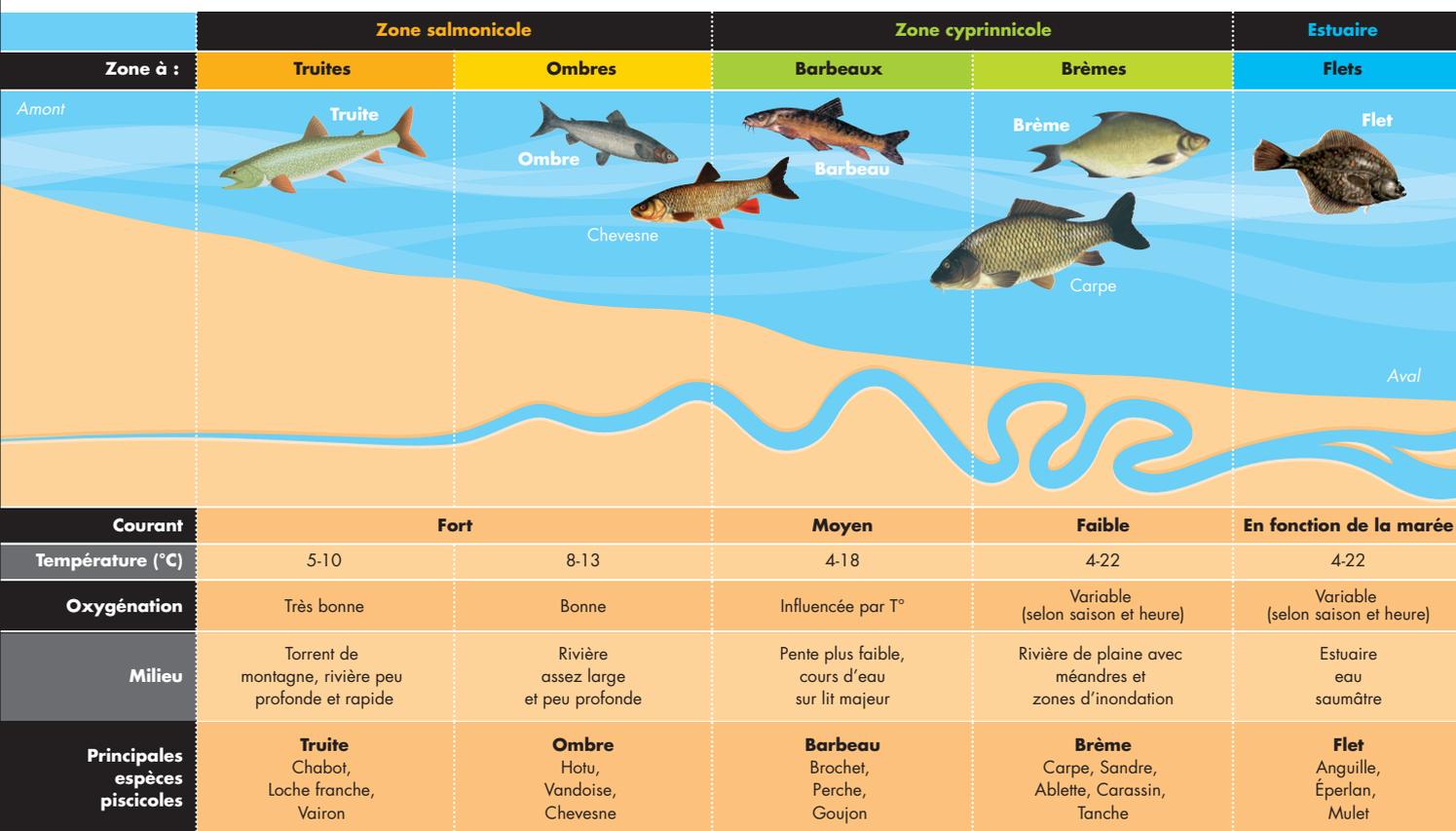


Figure 24 : La zonation de Huet (d'après l'ONEMA - Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques - Mai 2010)

3/ LA RÉPARTITION PISCICOLE DE LA SEINE

La distribution des populations piscicoles le long de la Seine fait apparaître une richesse biologique très inégale²⁵. Classiquement, sur les fleuves où l'Homme est moins présent, les poissons sont plus nombreux en aval qu'en amont car la partie basse présente une plus grande diversité d'habitats. Mais cela ne se confirme pas pour la Seine. En effet, le nombre d'espèces est très fluctuant et peut parfois chuter de façon importante.

À l'amont du bassin, le milieu fluvial encore préservé offre des habitats propices à de nombreuses espèces. Mais dans la partie aménagée pour les besoins de la navigation, on constate une régression des poissons d'eaux vives causée par l'homogénéisation des écoulements et des habitats. De plus, l'agglomération parisienne est affectée par une grande variété de rejets dans l'eau. Aux environs des Andelys (Eure), la situation s'améliore sensiblement grâce à la récupération du milieu, mais elle se détériore de nouveau aux alentours de Rouen. Enfin, ce n'est que dans l'estuaire, où se mélangent espèces d'eau douce et espèces marines, que la richesse du peuplement atteint des valeurs normales²⁶.



25/ AREHN (Agence Régionale de l'Environnement de Haute-Normandie) : http://www.arehn.asso.fr/dossiers/poisson/poissons_seine.html

26/ C'est-à-dire conformes aux données générales concernant les fleuves français, d'après "Les poissons d'eau douce des rivières de France : identification, inventaire et répartition des 83 espèces", R. Billard, Delachaux et Niestlé, 1997.

II. Les impacts de l'Homme sur les milieux aquatiques

L'installation des sociétés humaines à proximité des milieux aquatiques d'eau douce génère des nuisances diverses : aménagements physiques de cours d'eau (chapitre A), introduction d'espèces allochtones (chapitre B) et dispersion de polluants multiples et variés. La pollution des cours d'eau a connu différentes phases : fécale et organique d'abord (chapitre C), puis eutrophisation (chapitre D) et substances non dégradables depuis la seconde moitié du XX^e siècle (chapitre E).

Pour aller plus loin :
GÉOGRAPHIE

> Le bassin versant de la Seine marqué par les activités humaines

A. MODIFICATIONS PHYSIQUES DES COURS D'EAU ET BIODIVERSITÉ

1/ AMÉNAGEMENTS DE LA SEINE

Les aménagements des cours d'eau ont diverses fonctions : protection contre les crues, amélioration de la navigabilité, exploitation du potentiel énergétique de l'eau et urbanisation.

Le commerce a fait la prospérité du bassin parisien, situé à un carrefour fluvial par lequel transitaient des marchandises en provenance ou à destination de différentes régions d'Europe. Dans le bassin de la Seine, les conditions naturelles de navigabilité des cours d'eau n'étaient pas en accord avec les nécessités économiques. Dès la Renaissance, le flottage du bois pour approvisionner Paris constitue une étape essentielle de l'aménagement du fleuve.

De nombreux aménagements ont ensuite permis de relier la capitale française aux autres pôles économiques européens²⁷ : Benelux au nord, Allemagne à l'est et bassins du Rhône et de la Loire au sud. Différents canaux ont ainsi été creusés, tandis que les voies naturelles étaient modifiées pour permettre le passage des embarcations. Le transport de marchandises par voie fluviale constitue aujourd'hui encore une solution de transport privilégiée pour des raisons économiques et environnementales²⁸. 3,7 fois moins consommateur en carburant que le transport routier (à la tonne transportée), il devrait participer pleinement aux objectifs de report modal (changement d'un mode de déplacement vers un autre) inscrits dans le Grenelle de l'Environnement²⁹, qui exige d'atteindre l'objectif d'augmentation compris entre 14 et 25 % de la part modale du non-routier et non-aérien à l'horizon 2022.

Enfin, suite aux fortes crues des XIX^e et XX^e siècles, quatre barrages-réservoirs ont été construits dans la partie amont de la Seine ; ils sont destinés à stocker l'eau pour contrôler le régime hydraulique du fleuve. Ces réservoirs stockent les eaux en hiver et les restituent en été, de manière à écrêter les crues et contribuer au soutien d'étiage. Le régime hydrologique dans la partie aval de la Seine est donc devenu entièrement artificiel³⁰.

Pour aller plus loin :
HISTOIRE

> Les premiers peuples de Paris

Pour aller plus loin :
GÉOGRAPHIE

> La Seine, de la source à l'estuaire (flottage du bois, navigation, lacs-réservoirs)

27/ "Transport et logistique fluviaux", M.-M. Damien, Dunod, 2009.

28/ Voies Navigables de France (VNF) : www.vnf.fr

29/ Loi n° 2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement (1) (Titre 1, Chapitre III, Article 11).

30/ Cf. note 3

• **Chenalisation et canalisation des voies d'eau naturelles**

La **chenalisation** comprend différents types d'aménagement d'un cours d'eau naturel : le recalibrage (augmentation de la capacité du lit en modifiant la profondeur et la largeur), le reprofilage (augmentation de la vitesse du courant par augmentation de la pente) et la rectification (recouplement des méandres). L'artificialisation des berges est souvent associée à ces procédés.

La **canalisation** est largement utilisée dans le cas de la Seine. Elle consiste en un bétonnage des berges et parfois du fond, et en la réalisation de **barrages** en amont desquels le niveau de l'eau est relevé. Ces barrages, munis d'écluses, font de la Seine un important "escalier d'eau" où le courant est ralenti (figure 25). Chaque portion entre deux barrages est appelé **bief**. Cette technique permet de s'affranchir d'une partie des caractéristiques naturelles des cours d'eau, notamment la pente du terrain et les variations de débit (crues, étiages)³¹.

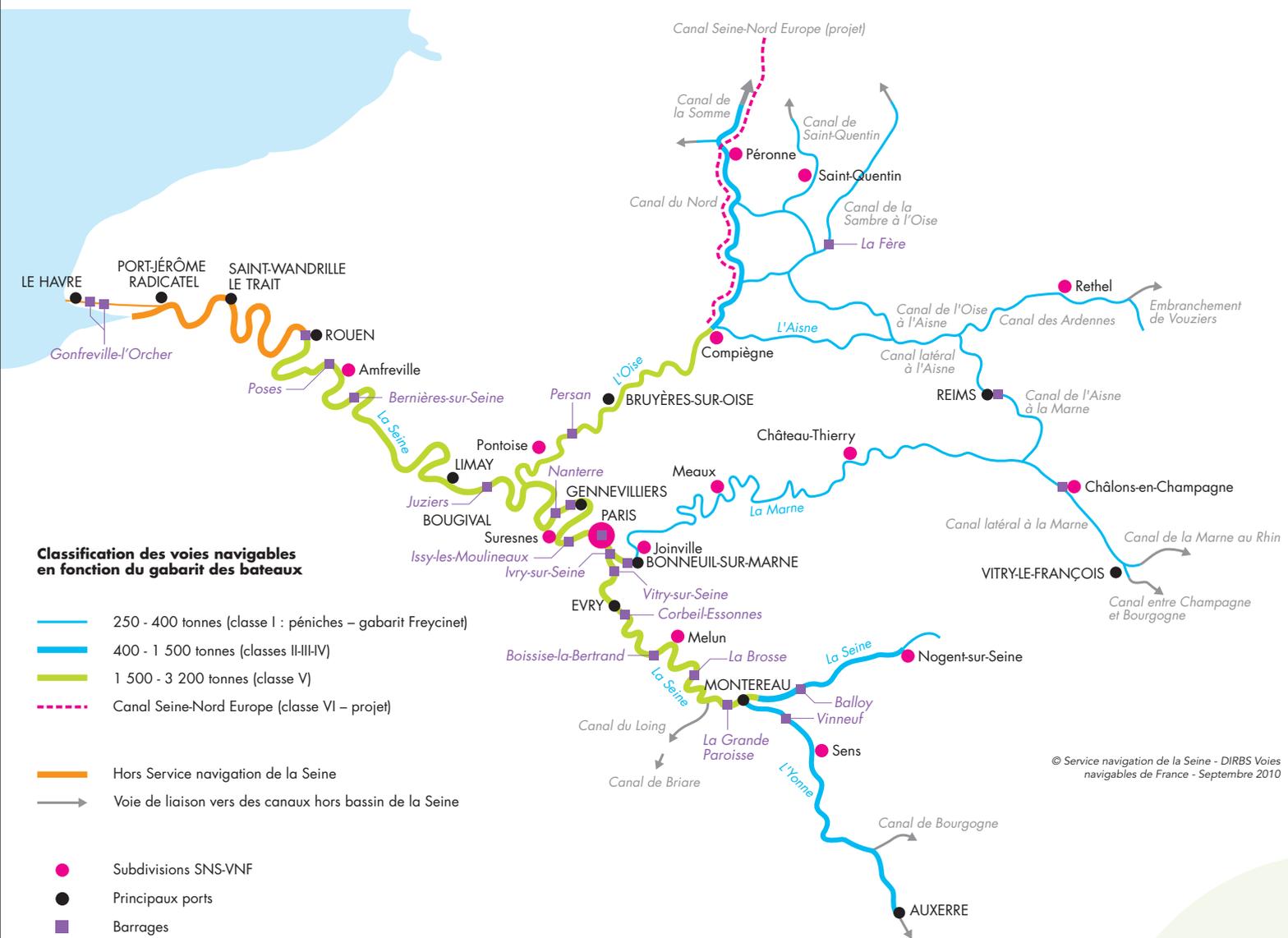


Figure 25 : Le réseau navigable du bassin de la Seine

31/ "Impacts écologiques de la chenalisation des rivières", JG. Wasson et Al., Cemagref, 2000.

- **Creusement de canaux**

Le canal est une voie d'eau entièrement artificielle. Une de ses fonctions est la liaison de deux bassins versants. Le canal de Briare, achevé en 1642, a ainsi connecté la Seine et la Loire. La mise en place de canaux de navigation s'est développée au XVIII^e siècle. Cependant, certains canaux n'ont été achevés qu'au XX^e siècle. Ainsi, le canal entre Champagne et Bourgogne, anciennement canal de la Marne à la Saône, ouvre en 1907 et relie les bassins de la Seine et du Rhône, permettant la liaison entre la Manche à la Méditerranée (figure 25).

Les bassins de la Seine et du Nord-Pas de Calais représentent 60 % du trafic fluvial en France. Le canal du Nord, qui relie actuellement ces deux bassins de navigation, constitue de par sa faible capacité de transport (650 tonnes) un goulet d'étranglement qui interdit la circulation des convois à grand gabarit et limite ainsi considérablement les échanges fluviaux nord-sud. Le **canal Seine-Nord Europe**, avec la construction de 106 kilomètres de canal neuf entre Compiègne et Cambrai, accueillera à partir de 2017 des convois emportant jusqu'à 4 400 tonnes. Il deviendra le maillon central de la liaison européenne Seine-Escaut et désenclavera le bassin de la Seine en l'ouvrant sur le réseau européen de voies navigables vers l'Europe du Nord et la mer du Nord, mais aussi vers l'Europe centrale et orientale jusqu'à la Mer Noire, par la liaison Rhin-Main-Danube³².

2/ IMPACT DES AMÉNAGEMENTS SUR LES ÉCOSYSTÈMES AQUATIQUES

- **Modification de l'hydrosystème**

La canalisation des cours d'eau entraîne la modification de leurs caractéristiques physico-chimiques, thermiques et d'éclairement. Des déséquilibres sont observables en aval de la zone où la rivière est aménagée : augmentation de la vitesse de l'eau, processus d'érosion favorisés, déplacement et dépôt de particules solides. La gestion des barrages peut dégrader les biocénoses à l'aval du fait des lâchages. Le batillage provoqué par la navigation contrarie la reproduction des poissons et dégrade les berges non confortées. L'entretien intempestif (curages notamment) et l'absence d'entretien des cours d'eau (ralentissement du courant, dépôt de débris, ensablement) provoquent dans les deux cas des dégâts. L'abaissement de la nappe phréatique résulte de l'enfoncement du lit. L'artificialisation et l'endiguement des berges suppriment la connectivité entre le fleuve, sa plaine alluviale et ses annexes hydrauliques, avec des conséquences hydrauliques (inondations à l'aval) et écologiques (habitat et reproduction de la faune).

- **Obstacle aux poissons migrateurs**

Les poissons se déplacent dans les cours d'eau ; pour certains, ces déplacements sont nécessaires à l'accomplissement de leur cycle de vie. Certaines espèces comme le Saumon, la Truite, l'Alose et l'Anguille doivent transiter entre l'océan et les têtes de bassin pour se reproduire (*cadre sur la migration et cadre sur le Saumon p 29, cadre sur l'Anguille p 58*).

LA MIGRATION VITALE : LES CAS OPPOSÉS DE L'ANGUILLE ET DU SAUMON

L'Anguille européenne et le Saumon atlantique sont tous deux des espèces **amphihalines** ; ils passent au cours de leur cycle de vie de la rivière à l'océan, des milieux aquatiques aux salinités très différentes. Les processus qui régissent les déplacements de ces deux voyageurs sont cependant différents.

L'**Anguille européenne** est un poisson **catadrome**. Elle naît dans la mer des Sargasses d'où elle voyage jusqu'en Europe, transportée par le courant océanique du Gulf Stream. La larve atteint ainsi les côtes européennes où elle se métamorphose en civelle, jeune anguille. Elle migre et colonise l'amont, passe 12 à 15 ans dans les cours d'eau, puis sa croissance terminée, elle rejoint les grandes profondeurs de la mer des Sargasses pour s'y reproduire, avant de mourir.

Le **Saumon atlantique** est un poisson **anadrome**. Il naît dans des gravières de petits cours d'eau de la zone à Truite. À environ un an, le tacon ou smolt est prêt à migrer en mer. Après un ou deux ans, le saumon revient en rivière pour se reproduire, préférentiellement dans le cours d'eau dont il est originaire. Ce type de comportement est appelé "homing". Certains regagnent la mer pour une nouvelle phase de nutrition avant une seconde reproduction.

Saumon atlantique

Durant la première partie de sa croissance, le Saumon atlantique séjourne dans les rivières d'altitude très oxygénées, avant sa migration vers les zones d'engraissement. En rivière, les jeunes saumons se nourrissent de petits invertébrés, insectes ou petits crustacés. Pendant leur migration, ils vont progressivement s'attaquer à des proies plus grosses, consommant des petits poissons à leur passage à l'estuaire et s'attaquant à des harengs plus volumineux dans l'océan. Jeune, le Saumon est la proie d'autres poissons (Chabot, Truite).

Très sensible aux pollutions du milieu, il est à ce titre un bioindicateur privilégié. Les obstacles physiques à son déplacement le long des rivières et des fleuves sont également une entrave majeure à son développement. Autrefois présent dans une grande partie du réseau hydrographique français, il est aujourd'hui principalement cantonné à la Loire et a quasiment disparu de la Seine. Il refait néanmoins apparition régulièrement à l'aval de Paris. Du fait de sa régression, il est classé vulnérable (statut de conservation UICN³³).



© Biosphoto / Keith Ringland / OSF

Figure 26 : Saumon atlantique (*Salmo salar*) ►

Des dispositifs de franchissement des obstacles, ou **passes à poissons**, sont désormais aménagés pour permettre aux poissons de passer d'un côté à l'autre d'un barrage et de monter ou descendre la rivière concernée. Face à la diversité des exigences biologiques de chaque espèce, il en existe différents types – passes, échelles, écluses, ascenseurs, écrans, tapis – avec le point commun de contraindre les poissons à passer en un point précis du barrage. Tous les barrages reconstruits sur l'Oise sont équipés de "passes à bassins", qui consistent à diviser la hauteur à franchir en plusieurs petites chutes formant une série de bassins. Sur la Seine, il existe aussi des "passes rustiques à seuils" comme au barrage de Jaulnes (77), des "passes en rivière artificielle à seuils" à Andrésy (78) (figure 27) ou des rampes à macro-rugosités à Notre-Dame-de-la-Garenne (Eure-27)³⁴. D'ici 2014, tous les barrages de la Seine à l'aval de la confluence avec la Marne seront équipés.



© SIAAP

◀ Figure 27 : Passe à poissons d'Andrésy - (Passe en rivière artificielle à seuils, Andrésy (78), mise en service en avril 2011)

33/ UICN : Union Internationale pour la Conservation de la Nature (Organisation non gouvernementale).
34/ VNF : www.sn-seine.equipement.gouv.fr/IMG/pdf/BAT_passe-poisson_2011_cle7af51e.pdf.

- **Migration d'espèces entre bassins**

Les canaux relient entre eux des réseaux hydrographiques originellement isolés et constituent des couloirs de propagation d'espèces, parfois envahissantes. La connexion du bassin de la Seine avec les autres bassins hydrographiques européens a permis l'arrivée de cinq espèces : Grémille, Hotu, Toxostome, Barbeau et Sandre³⁵. Paradoxalement, les canaux contribuent à l'appauvrissement de la biodiversité. Ce phénomène fait l'objet du chapitre suivant sur les introductions d'espèces.

- **Segmentation des milieux terrestres**

Les canaux provoquent une fragmentation écopaysagère du territoire, ce qui conduit à l'isolement de la faune et la flore. La communauté scientifique considère désormais que la fragmentation écologique est devenue une des premières causes d'atteinte à la biodiversité, avant la pollution. Pour y remédier, les canaux pourraient être aménagés de passages permettant le déplacement des animaux terrestres (écoducs), de la même manière que pour les routes, mais ce type de mesure compensatoire n'a pas encore été mis en place. Les animaux doivent donc emprunter les ponts routiers.

- **Destruction des habitats des berges**

Le fond et les berges des rivières constituent des biotopes aquatiques variés et précieux, en roche, terre, vase, avec ou sans végétation. Les différentes strates de végétation des rives – ou végétation rivulaire – sont indispensables aux équilibres du milieu (figure 28 et cadre sur les fonctions de la ripisylve p 31).

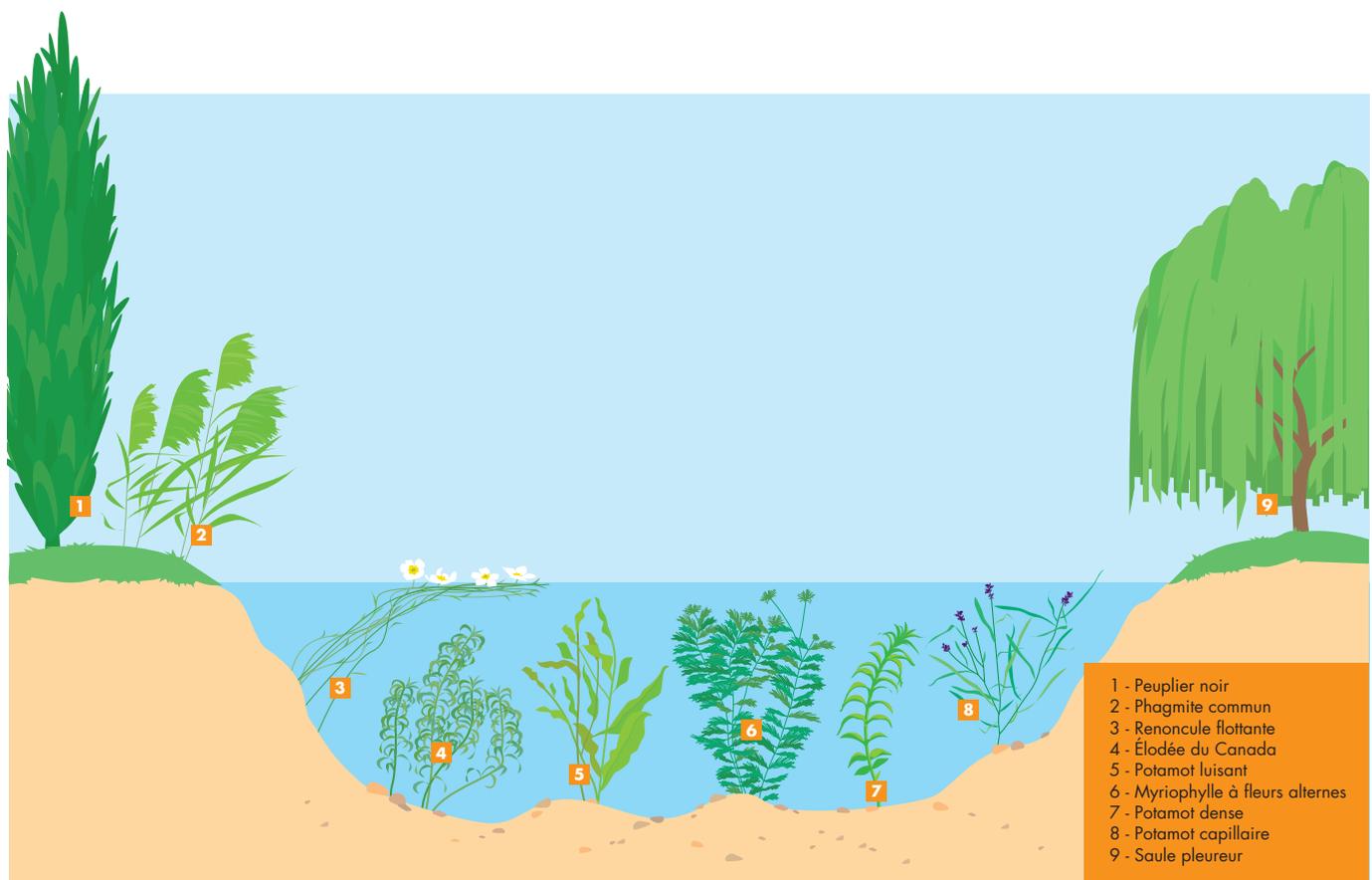


Figure 28 : Répartition écologique de quelques végétaux des rivières à cours rapide

D'après Montegut, 1973 et Arrignon, 1998

© SIAAP

35/ P. Boet, Cemagref : [www.x-environnement.org/index.php?option=com_content&view=article&id= 57%3A2001&catid=36%3Ajaune-rouge&Itemid=41&limitstart=7](http://www.x-environnement.org/index.php?option=com_content&view=article&id=57%3A2001&catid=36%3Ajaune-rouge&Itemid=41&limitstart=7)

LES FONCTIONS DE LA RIPISYLVE

Les berges sont un milieu écotone, c'est-à-dire qu'elles constituent un lieu de transition, une zone tampon, à l'interface entre le milieu terrestre et le milieu aquatique. Cette caractéristique leur permet d'assurer diverses fonctions.

RÔLES ÉCOLOGIQUES :

- **habitats** variés pour la faune (repos, abri, refuge, nourrissage et reproduction dans les cavités, racines, bois morts, végétaux, sur le fond, etc.)
- **apport de matière organique** (végétaux morts tombant dans le cours d'eau et autres débris organiques, dégradés en matière minérale par les micro-organismes décomposeurs, servant ensuite de nourriture aux autres espèces)
- **corridor biologique** (reliant les massifs forestiers et permettant le déplacement de certaines espèces, mais aussi de graines, de gènes, etc.)
- **ombrage** (prévention du réchauffement des eaux et régulation des écarts de températures, contrôle du phénomène d'eutrophisation)
- **épuration** (filtration et amélioration de la qualité des eaux par piégeage biologique des apports en nitrates, phosphates et substances toxiques du bassin versant)

RÔLES HYDRAULIQUES :

- **stabilisation des berges et rempart contre l'érosion** (c'est la diversité des essences et des espèces herbacées, et donc de leurs racines, qui permet un bon maintien)
- **protection contre les crues** (diminution de la vitesse et de la force d'érosion du courant, rétention des sédiments et blocage des matériaux risquant de faire embâcle)

RÔLES SOCIO-ÉCONOMIQUES :

- **qualités paysagères**
- **potentialités récréatives**

La canalisation uniformise et dénature les berges, avec une disparition partielle ou totale de la végétation. Cela implique la perte d'habitats pour la faune et la flore, et plus particulièrement la destruction des **frayères de poissons** : celles des salmonidés par la suppression des hauts-fonds et des gravières, des cyprinidés par élimination des herbiers, et des ésocidés par la disparition des zones inondées (cadre sur le Brochet p 31).

Brochet

Le Brochet vit dans les rivières tranquilles, étangs et lacs d'Europe. Il chasse à l'affût. Camouflé dans les herbes aquatiques ou les branchages immergés, il attend qu'une proie passe à sa portée. Son alimentation évolue avec l'âge : lorsqu'il est alevin, elle est constituée de zooplancton et d'insectes. Adulte, il devient très vorace et se nourrit de poissons vivants (Gardons, Brèmes, Perches, Truites), voire d'écrevisses, grenouilles, canetons, poules d'eau, rongeurs. Ce carnassier est dit opportuniste, il chasse en priorité les individus faibles. Le cannibalisme fait également partie de son mode d'alimentation.

Figure 29 : Brochet (*Esox lucius*) ayant capturé un Gardon ►



© Biosphoto / Lutra / Photoshot

Le Brochet fraie exclusivement dans les zones herbeuses des plaines inondables des cours d'eau. Les conditions déclenchant la ponte sont nombreuses : d'ordre hydraulique (crue occasionnant l'inondation d'une plaine), environnemental (présence d'herbe sur la zone inondée) ou climatique (élévation de la température)³⁶. La période de frai, précoce, se produit de février à avril (eau entre 5 et 12°C). La femelle pond entre 20 000 et 30 000 œufs par kilogramme de son poids. Les œufs sont déposés dans les herbiers situés près des berges.

Il est aujourd'hui classé comme vulnérable dans les cours d'eau français. Sa fragilité tient principalement à la raréfaction des zones inondables nécessaires à sa reproduction, du fait notamment des aménagements anti-crues empêchant les débordements, de l'assèchement des zones humides et de la disparition de la végétation des berges.

- **Restauration écologique**

Depuis quelques décennies, diverses opérations de génie écologique et de renaturation des milieux sont réalisées afin de rétablir un bon fonctionnement écologique des rivières : suppression de barrages, construction de passes à poissons, restauration de frayères, réhabilitation de zones humides, réouverture de rivières canalisées, rétablissement des connexions entre rivière et plaine alluviale ou bras morts, etc. Les actions du SIAAP dans ce domaine font l'objet de la partie III. C. (pages 62 à 68).

36/ "Biologie des poissons d'eau douce européens", J. Bruslé & J.-P. Quignard, Tec & Doc, 2001

B. INTRODUCTIONS D'ESPÈCES ET CONCURRENCE

1/ CAUSES DES INTRODUCTIONS

Les introductions d'espèces dans des environnements où elles ne vivent pas normalement résultent de diverses activités humaines : commerciales (fourrure, alimentation), ornementales (plans d'eau), loisirs (aquariophilie, chasse, pêche) ou comme sujet d'études. Des spécimens peuvent aussi pénétrer accidentellement les ballasts d'un bateau ou se déplacer après le creusement de canaux joignant des réseaux hydrographiques autrefois isolés. Le transport d'un ou plusieurs spécimens peut être volontaire ou fortuit. L'accroissement des échanges internationaux génère une augmentation des introductions d'espèces dans le milieu aquatique. Cependant, ce phénomène n'a pas attendu la mondialisation des échanges pour s'opérer (*introduction de la Carpe en Europe dès l'Antiquité : cadre sur la Carpe p 19*).

Certaines espèces entrent alors en concurrence avec le fonds originel du milieu en convoitant la niche écologique d'une espèce locale, en se nourrissant par exemple du même type de proie. Quand leur adaptation au milieu permet leur multiplication aux dépens d'espèces natives du milieu, on parle d'espèce **envahissante**. Cela peut conduire à des catastrophes écologiques. Certaines espèces ont une importance primordiale dans les écosystèmes : rôle dans les réseaux trophiques (prédation) et dans les cycles biogéochimiques (transformation des matières organiques, filtration, etc.)³⁷. Le transfert d'agent pathogène est aussi une conséquence potentielle des introductions d'espèces. Lorsque que les populations d'une espèce introduite se perpétuent de façon autonome dans le milieu naturel, on dit qu'elle est **naturalisée**.

Les introductions d'espèces concernent à la fois les espèces animales (Ragondin, Tortue de Floride, Dreissène, Écrevisses d'Amérique du Nord) et végétales (Élodée, Jussie, Renouée, Myriophylle).

2/ QUELQUES EXEMPLES DE PERTE DE BIODIVERSITÉ DUE AUX INTRODUCTIONS D'ESPÈCES

• Les poissons

Dans la Seine, les introductions d'espèces de poissons ont fortement influencé la composition piscicole du fleuve. Par rapport à son fonds originel, le bassin de la Seine s'est globalement enrichi. Il est passé de 33 à 52 espèces de poissons. Au total 19 espèces, soit 37 % de la faune piscicole, ont été introduites par l'Homme. Ces espèces proviennent d'Eurasie (Carpe, Sandre, Silure, Grémille) ou d'Amérique du Nord (Truite arc-en-ciel, Perche-soleil, Poisson-chat). Beaucoup d'entre elles ont été introduites au XIX^e siècle par la Société impériale zoologique d'acclimatation qui souhaitait notamment compenser les faibles densités piscicoles. D'autres en revanche ont été introduites ces dernières décennies suite à la connexion entre différents bassins hydrographiques européens.

Parmi les conséquences en France, on note l'affaiblissement des populations de Brochets consécutivement aux introductions de Sandres. Les espèces les plus sensibles et les plus spécialisées comme les salmonidés ont aussi globalement souffert de ces introductions qui ont, au contraire, favorisé les espèces opportunistes comme le Gardon et la Brème.

37/ "Les biomarqueurs dans l'évaluation de l'état écologique des milieux aquatiques", J.-C. Amiard, C. Amiard-Riquet, Lavoisier, Éditions Tec & Doc, 2008.

• Les Dreissènes

Originaires d'Europe de l'est et considérées comme envahissantes, les Dreissènes sont largement présentes en région parisienne et en particulier dans la Seine. Comme leurs cousines marines, ces **moules d'eau douce** possèdent un byssus leur permettant d'adhérer à un support. Elles prolifèrent rapidement, peuvent obstruer des canalisations et éliminer d'autres espèces de mollusques.



© Paul Starosta

Moule zébrée

L'espèce *Dressenia polymorpha* est la cause d'une mortalité très importante chez les cyprinidés du bassin de la Seine (Carpe, Barbeau). Elle héberge en effet un parasite responsable de la bucéphalose larvaire.

◀ **Figure 30 : Dreissène (moule zébrée) (*Dressenia polymorpha*)**

• Les Écrevisses d'Amérique

Différentes espèces d'écrevisses originaires du continent américain ont colonisé le territoire français : les Écrevisses américaine, de Louisiane, du Pacifique. Ces écrevisses envahissantes exercent une concurrence très forte sur les peuplements indigènes car elles sont plus fécondes, plus agressives, adaptées aux eaux de qualité médiocre et porteuses saines d'un champignon virulent appelé peste de l'écrevisse. Elles sont responsables de la **disparition progressive des espèces autochtones** : les Écrevisses à pattes blanches et à pieds rouges.

Autrefois la plus répandue en France, l'Écrevisse à pattes blanches (ou à pieds blancs) vit dans les cours d'eau claire dont le fond est constitué de graviers. Très sensible aux modifications que subit son environnement et classée vulnérable, elle a disparu de la région parisienne.

Écrevisse américaine

L'Écrevisse américaine a été introduite en Europe il y a plus de cent ans. Une femelle peut porter jusqu'à 450 œufs (contre 40 à 150 pour l'Écrevisse à pattes blanches). Plus résistante aux maladies et aux pollutions, elle est entrée en concurrence alimentaire avec les autres et a fini par prendre leur place. En outre, elle s'installe dans des endroits vaseux et dans les berges, où elle cause des dégâts en creusant des galeries.



© Biosphoto / Wolfgang Poelzer / WaterFrame

Figure 31 : Écrevisse américaine (*Orconectes limosus*) ▶

C. APPORTS DE MATIÈRE ORGANIQUE ET RESPIRATION AQUATIQUE

1/ CARACTÉRISTIQUES DE LA MATIÈRE ORGANIQUE

La matière organique, terme qui englobe tout ce qui est vivant ou l'a été, se présente sous différentes formes selon son origine. Dans un cours d'eau, on distingue le matériel végétal mort et la matière organique animale provenant des excréments et des cadavres des différents organismes.

Les populations humaines peuvent être à l'origine du déversement dans les cours d'eau de matières organiques, d'origine agricole (engrais, lisier), industrielle et domestique (restes alimentaires, matières fécales). L'urbanisation de nos sociétés concentre les populations ainsi que leurs déchets, dont font partie les eaux usées. Si les eaux usées sont mal ou incomplètement épurées au sein des stations d'épuration, elles peuvent être source de matières organiques pour le cours d'eau. Un déversement de matière organique génère une réponse de l'écosystème. En effet, elle est en partie biodégradable et assimilée par des micro-organismes. C'est le phénomène d'autoépuration du milieu (cadre ci-dessous). Cette décomposition est réalisée par des bactéries dites aérobies, qui en respirant consomment du dioxygène dissous dans l'eau.



Pour aller plus loin :
GÉOGRAPHIE

> L'urbanisation



Pour aller plus loin :
SCIENCES ET TECHNIQUES

> Les paramètres de pollution des eaux usées

L'AUTOÉPURATION

L'autosuffisance de la nature figure parmi les concepts de base de l'écologie. Ce que l'on nomme ici "autoépuration" en est une traduction.

Pour se développer, les producteurs primaires nécessitent, en plus de l'énergie lumineuse et du dioxyde de carbone, des apports phosphorés et azotés. Les réserves minérales d'azote et de phosphore auraient été rapidement épuisées sans le recyclage naturel. En effet, différents organismes, les recycleurs, se succèdent pour dégrader la matière organique inerte jusqu'à sa "reminéralisation" complète, et remettre ainsi l'azote et le phosphore à disposition des producteurs primaires.

L'autoépuration est l'utilisation des capacités de recyclage d'un écosystème aquatique pour dégrader une pollution légère. Ainsi, la libération d'une petite quantité de matière organique par l'Homme sera assimilée sans conséquences dans un écosystème.

2/ CONSÉQUENCES DES APPORTS DE MATIÈRE ORGANIQUE SUR LES CONDITIONS DE RESPIRATION DES ESPÈCES AQUATIQUES

Un épisode pluvieux peut lessiver les sols et entraîner dans l'eau de grandes quantités de matière organique, provoquant des dysfonctionnements dans les cours d'eau. Si le milieu ne parvient plus à éliminer cette matière organique, on dit que les capacités d'autoépuration du cours d'eau sont dépassées. L'écosystème aquatique peut alors subir de forts déséquilibres car la décomposition s'accompagne d'une baisse de la teneur en dioxygène dissous, au détriment de la respiration des poissons et autres espèces hétérotrophes du milieu.

 Pour aller plus loin :
SCIENCES ET TECHNIQUES
> Le traitement des matières organiques

• Le dioxygène dans l'eau et les paramètres associés

La concentration en dioxygène dissous est un paramètre fondamental de l'écologie des milieux aquatiques. Ce gaz en solution est indispensable à la respiration des organismes hétérotrophes. Il intervient également dans les phénomènes de dégradation de la matière organique et de photosynthèse.

Dans les milieux aquatiques, le dioxygène a deux origines : la production de dioxygène par les végétaux aquatiques et la dissolution du dioxygène atmosphérique. La solubilité du dioxygène atmosphérique, c'est-à-dire la quantité d'oxygène que l'eau peut absorber, dépend de plusieurs paramètres physiques :

- la température de l'eau

Lorsque la température de l'eau augmente, la solubilité du dioxygène diminue, l'eau peut contenir une quantité de dioxygène moins importante (14,5 mg/L à 0°C, 10 mg/L à 15°C, 7,5 mg/L à 30°C)³⁸. En conséquence, un réchauffement des eaux induit une baisse du taux de dioxygène dissous.

- la salinité

Une hausse de la quantité de sels dissous dans l'eau fait diminuer la quantité de dioxygène dissous dans l'eau. En conséquence, l'eau de mer contient, en règle générale, moins de dioxygène, que l'eau douce.

Si la solubilité est fonction des caractéristiques physiques de l'environnement, la quantité effective en dioxygène dissous dépend aussi de paramètres davantage variables :

- l'activité hétérotrophe

Les organismes hétérotrophes, des bactéries aérobies aux poissons, consomment du dioxygène dissous. Leur nombre et l'intensité de leur activité diminuent donc la quantité de dioxygène dissous disponible.

- la réaération

La réaération correspond au réapprovisionnement en dioxygène nécessaire pour compenser l'activité hétérotrophe. Cet apport en dioxygène a lieu au niveau de la zone de contact (interface) entre l'air et l'eau. Elle dépend donc de la vitesse du courant et du type d'écoulement (turbulence).

- la lumière

L'activité photosynthétique diurne libère du dioxygène dissous. L'intensité lumineuse influe donc sur la quantité de dioxygène dissous produite.

38/ Cf. note 3

• La respiration des poissons

D'une manière générale, la respiration consiste d'une part à capturer le dioxygène qui permettra d'oxyder les nutriments issus de l'alimentation et d'autre part à rejeter du dioxyde de carbone. Le dioxygène est utile au niveau des différents muscles où il est acheminé via les globules rouges du sang³⁹. Les faibles concentrations en dioxygène dans l'eau font de la respiration un facteur limitant pour le développement des poissons ; le coût énergétique de l'extraction de l'oxygène est en effet élevé et affecte les autres activités de leur organisme : nutrition, locomotion, reproduction.

L'exigence en dioxygène des poissons est variable et dépend de nombreux facteurs : l'activité alimentaire, le type d'habitat, le cycle de reproduction et l'activité natatoire. Celle-ci dépend du profil éco-morphologique des poissons qui peuvent ainsi être classés selon leur consommation en dioxygène. Les plus gros consommateurs sont les poissons de haute mer, dits **pélagiques** (Thon, Maquereau) ; ce sont de grands nageurs, certains nagent même constamment, et possèdent des adaptations respiratoires. Ensuite, viennent les poissons **nectoniques**, capables de remonter le courant ; leur métabolisme est adapté aux changements de rythme (passage du repos à la nage active). Enfin, les consommateurs de dioxygène les plus modérés sont les poissons **benthiques**, les petits nageurs qui évoluent près du fond.

Dans les cours d'eau du bassin de la Seine, les plus exigeants sont les **salmonidés** (Truite, Saumon), pour lesquels des concentrations supérieures à 5 mg/L sont vitales. C'est l'une des raisons pour lesquelles ces poissons se trouvent dans les petites rivières froides et à courant rapide caractéristiques de la zone à Truite. À l'opposé, certains poissons tolèrent de faibles taux de dioxygène dissous ; la Carpe peut ainsi survivre à des concentrations de l'ordre de 0,5 mg/L.

LA RESPIRATION BRANCHIALE

Les concentrations en dioxygène dans l'eau peuvent être jusqu'à 30 fois inférieures à celles dans l'air. La diffusion de ce gaz vers les organes internes du poisson est d'autant plus difficile du fait de la densité et de la viscosité de l'eau.

Les transferts s'effectuent par différence de concentrations en dioxygène entre l'eau et le sang. Le contact entre ces deux fluides est optimisé au niveau des branchies ; celles-ci consistent en une succession de lamelles vascularisées au sein desquelles circule l'eau.

Le mouvement de l'eau dans les branchies peut, d'une part, se faire par pompage actif. L'eau entre alors par la bouche, la cavité buccale s'agrandit pour créer une aspiration, elle sort ensuite par les ouïes après son passage dans les branchies. D'autre part, cette circulation peut s'effectuer de façon passive, lors de la nage.

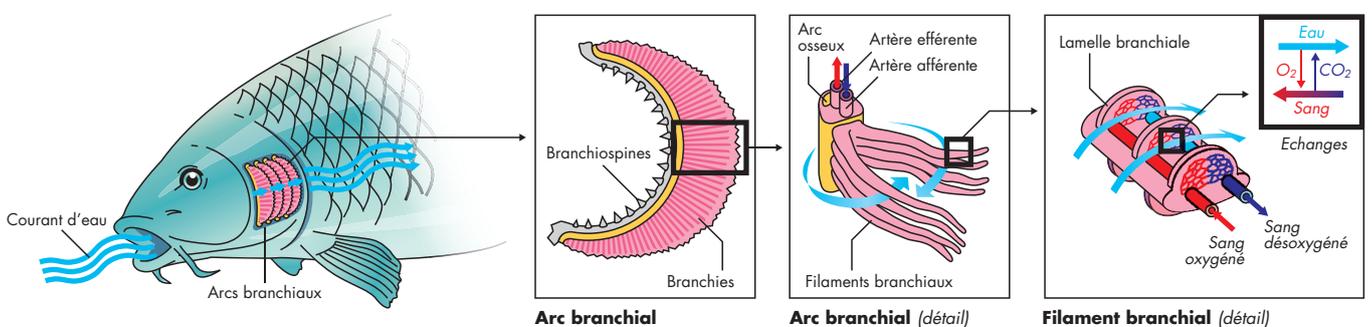


Figure 32 : L'appareil respiratoire du poisson

Site de La Pêche de la Carpe en Ardèche www.carpe07.com (pages sur la biologie de la Carpe)

© SIAAP - d'après un dessin de Julien Charra

39/ "Les poissons et leur environnement", J. Bruslé, J.-P. Quignard, Tec & Doc, Lavoisier, 2004.

D. AZOTE ET PHOSPHORE DANS LES COURS D'EAU ET EUTROPHISATION

1/ ORIGINES DE CES NUTRIMENTS

On désigne par les termes nutriments ou éléments nutritifs les composés chimiques utilisés par les organismes autotrophes pour synthétiser de la matière vivante lors de la photosynthèse. Les plus importants sont l'azote, le phosphore, ainsi que la silice. Les nutriments se présentent sous des formes chimiques variées ou sous forme libre : ions azotés (ammonium NH_4^+ , nitrites NO_2^- , nitrates NO_3^-) et phosphorés (phosphates PO_4^{2-}), ainsi que les silicates (SiO_2), chlorures (Cl^-), sulfates (SO_4^{2-}) et carbonates (CO_3^{2-}). Ces éléments conditionnent le développement des végétaux et du phytoplancton ; ils sont à ce titre à la base de l'écosystème aquatique. L'Homme peut être à l'origine de la dispersion de nutriments dans un cours d'eau selon deux sources principales : les rejets domestiques et agricoles.

Pour aller plus loin :
SCIENCES ET TECHNIQUES

> Le traitement de l'azote et du phosphore

• Les effluents domestiques

La région parisienne et ses 12 millions d'habitants produisent 2,5 millions de mètres cubes d'eaux usées par jour. En milieu urbain, la grande majorité des eaux usées sont dépolluées dans des stations d'épuration avant d'être rejetées dans les cours d'eau.

Azote

Dans l'eau usée qui arrive à la station d'épuration, on trouve de l'azote sous les formes organique et ammoniacale (NH_4^+). Au cours des procédés d'épuration des eaux, ces composés sont transformés en nitrates par l'action de certaines bactéries. Avant la directive relative au traitement des eaux résiduaires urbaines (DERU) de 1991, l'absence de traitement spécifique d'élimination des nitrates entraînait leur rejet dans le milieu récepteur. Depuis, une grande partie des nitrates est transformée en azote gazeux et ne se retrouve plus dans les cours d'eau.

Pour aller plus loin :
SCIENCES ET TECHNIQUES

> Les contraintes de traitement des eaux usées dans la législation sur l'eau

Phosphore

Le phosphore contenu dans les eaux usées est issu essentiellement des matières fécales et des détergents et produits d'hygiène. Des procédés d'épuration adaptés (déphosphatation) et l'arrêt de l'utilisation des polyphosphates dans les lessives limitent aujourd'hui fortement le rejet de composés phosphorés dans l'environnement.

Pour aller plus loin :
GÉOGRAPHIE

> L'agriculture sur le bassin de la Seine

• Les rejets agricoles

Une agriculture très productive s'est développée dans le bassin de la Seine dont elle occupe environ 60 % de la surface. Elle est l'activité responsable de la majorité des pollutions azotées et phosphorées. En effet, de grandes quantités d'**engrais** sont dispersées sur les diverses cultures. Ces engrais contiennent principalement les éléments de base pour l'amendement des cultures : azote, phosphore et potassium (N, P, K). Ces nutriments sont destinés à être captés par la plante cultivée. Cependant, ils peuvent rejoindre les milieux aquatiques par différents mécanismes en fonction du dosage, du cycle végétatif de la plante, des conditions climatiques et de la topographie. La pollution liée à l'épandage d'engrais n'est pas concentrée en un lieu donné comme c'est le cas pour le rejet des stations d'épuration, il s'agit de pollutions diffuses. Elle ne peut, à ce titre, faire l'objet d'un traitement (si ce n'est par l'implantation de bandes enherbées parallèles aux cours d'eau en bas des parcelles agricoles). **L'élevage** est également à l'origine de pollutions diffuses et ponctuelles, principalement azotées. Dans certains cas, le traitement des effluents peut s'effectuer à proximité des bâtiments d'élevage.

Azote

Les nitrates sont la forme la plus mobile de l'azote dans le sol. Lors de fortes pluies et plus particulièrement lorsque les sols agricoles sont nus en hiver, il peut s'opérer un lessivage des nutriments et leur infiltration verticale vers les nappes souterraines.

Phosphore

Le phosphore se caractérise par une très forte capacité à se lier aux éléments solides du sol ; par conséquent, il n'est pas facilement lessivé par l'eau. Cependant, l'érosion des sols entraîne les éléments solides du sol vers les cours d'eau, et donc les composés phosphorés associés.

2/ CONSÉQUENCES DE L'ENRICHISSEMENT D'UN COURS D'EAU EN NUTRIMENTS

Les masses d'eau contenant de fortes concentrations en nutriments peuvent devenir impropres à la **consommation humaine**. Les nitrates sont sans danger pour l'Homme, mais ils peuvent se transformer en nitrites, dont la présence dans le sang empêche l'hémoglobine de fixer convenablement l'oxygène. Cette transformation est possible sous l'action de bactéries présentes dans le tube digestif des nouveau-nés (méthémoglobinémie). Chez l'adulte, les nitrites peuvent se transformer en nitrosamines cancérogènes.

Concernant les **écosystèmes aquatiques**, les nutriments favorisent le développement des organismes photosynthétiques (phytoplancton, algues et végétaux supérieurs). Tous ces organismes sont essentiels mais lorsque leur développement est excessif du fait d'un enrichissement des eaux trop important, l'écosystème est déséquilibré, on parle d'**eutrophisation**. Dans les cours d'eau, l'eutrophisation est principalement corrélée à la quantité de phosphore présente. Le phosphore est en effet un facteur limitant comparé aux très fortes teneurs en azote. Les nitrates sont néanmoins responsables de proliférations algales dans les zones maritimes. À long terme, l'eutrophisation altère la qualité du milieu et diminue sa biodiversité. Les effets indésirables de la prolifération d'organismes photosynthétiques sont nombreux et concernent à la fois le milieu naturel et les usages de l'eau :

- La respiration des végétaux en surnombre génère des chutes du taux d'oxygène dissous et occasionne l'asphyxie des organismes aquatiques.
- La mort des végétaux est suivie de leur dégradation par des bactéries consommatrices elles aussi de dioxygène⁴⁰.
- Les eaux étant turbides, les traitements de potabilisation doivent être plus poussés et sont plus onéreux.
- Les diverses activités économiques et de loisirs liées aux cours d'eau sont perturbées.
- Les opérations de nettoyage et de faucardage représentent un coût important.

Dans les petites rivières et les lacs, l'eutrophisation se manifeste par une croissance excessive de végétaux fixés qui encombrant le lit du cours d'eau ou le plan d'eau. En région parisienne, l'eutrophisation des grands axes canalisés comme la Seine, la Marne ou l'Oise prend la forme d'**efflorescences algales** (ou blooms algaux) constituées par un développement intense de phytoplancton. Ces événements saisonniers ont lieu au printemps et sont particulièrement gênants pour la production d'eau potable. Suite à ce type d'événement, la présence de grandes quantités de matières organiques dissoutes entraîne la baisse de la teneur en dioxygène dans l'eau.

Si l'accent a été mis sur les facteurs anthropiques de l'eutrophisation, il faut souligner que d'autres paramètres influent sur le développement algal. La lumière ou encore la disponibilité de silicates apportés par l'érosion des roches sont essentiels et contrôlent en grande partie ce phénomène.

40/ Cf. p 35-37 : Apports de matière organique et respiration aquatique.

E. MICROPOLLUANTS DANS L'ENVIRONNEMENT ET TOXICITÉ

1/ POLLUTIONS TOXIQUES, REFLET DES ACTIVITÉS HUMAINES

Les activités agricoles, industrielles et tertiaires ont entraîné la dispersion volontaire ou accidentelle de nombreux composés présentant divers degrés de toxicité. Les trois compartiments que sont l'air, le sol et l'eau sont concernés. Ces produits sont dits toxiques car leur contact peut altérer une ou plusieurs fonctions métaboliques chez l'organisme concerné.

D'une très grande variété, on peut distinguer les polluants inorganiques (métalliques) et les polluants organiques.

• Les pollutions métalliques

Les métaux sont un facteur clef du développement des sociétés humaines qui ont de tous temps exploité ces ressources. Ils sont présents dans l'environnement sous forme pure, d'oxyde ou de sulfure dans les minerais. Mais le fait de les détecter dans des quantités importantes indique qu'ils ne sont alors pas d'origine naturelle. Contrairement à d'autres types de pollutions, la pollution métallique n'est pas née avec la révolution industrielle, des épisodes de forte contamination métallique ont en effet été mis en évidence bien avant le début de notre ère (par exemple à l'âge de fer). La production d'énergie par combustion du charbon et du pétrole, les industries de métallurgie et de construction sont cependant bien corrélées aux contaminations métalliques plus récentes.

Si les sources diffuses de pollution métallique ne sont pas maîtrisées, les sources ponctuelles (effluents urbains, rejets industriels) font aujourd'hui l'objet d'une surveillance particulière. D'une manière générale, les métaux sont très mobiles et se déplacent entre l'atmosphère, le sol, les milieux aquatiques et les êtres vivants. Lors de ces nombreux transferts, les métaux se trouvent sous différentes formes que l'on peut classer selon leur **biodisponibilité**. Elle dépend du caractère labile du métal. Un métal labile est sous forme d'ion libre, de complexe minéral ou de complexe organique peu stable. Les métaux non labiles sont sous des formes plus complexes et sont liés à des particules organiques ou à des particules macroscopiques.

Si de nombreuses caractéristiques sont communes aux métaux, il subsiste une grande variabilité de leur comportement dans l'environnement et de leurs effets sur la santé. Afin de mieux comprendre ce type de pollution, deux encadrés sont consacrés au plomb et au cadmium.

LE PLOMB (Pb)

Utilisation

Le plomb est un métal dont la gamme d'utilisation est très large : accumulateurs électriques, tuyaux d'alimentation comme les réseaux d'eau potable, joints d'étanchéité des toitures, etc. La quantité de plomb dispersée est aujourd'hui en régression grâce à l'évolution de la législation (recyclage des accumulateurs au plomb, interdiction des plombs de chasse, disparition des usines d'acide sulfurique). Concernant les réseaux d'alimentation en eau potable, il est interdit d'installer des canalisations en plomb depuis 1995 (décret de 1989). Un arrêté de 2007 fixe une teneur limite en plomb dans l'eau, mais n'impose pas de changer les canalisations en plomb, d'autres moyens pouvant être utilisés pour ne pas dépasser les valeurs limites (chemisage des canalisations par exemple)⁴¹.



41/ AFNOR (Association française de normalisation) : www.afnor.org/profils/situation/organismes-publics-et-collectivites-territoriales/canalisation-en-plomb

Circulation dans l'environnement

Le plomb dispersé dans l'environnement provient principalement des dépôts atmosphériques. Les rivières sont ensuite contaminées par l'érosion des berges qui contiennent du plomb. Dans le réseau hydrographique, le plomb se déplace fixé sur des particules. Dans les stations d'épuration, il est récupéré dans les boues d'épuration.

Concentration maximale admise dans l'eau potable : 25 µg/L, puis 10 µg/L en 2013.

Toxicité

Le plomb pénètre dans l'organisme humain par inhalation, ingestion ou, plus rarement, par voie cutanée. Chez l'Homme, on nomme saturnisme l'affection qui regroupe l'ensemble des intoxications au plomb. Grave problème de santé publique, le saturnisme est responsable d'affection neurologiques, d'anémies ou encore de troubles gastriques.

LE CADMIUM (Cd)

Utilisation

Les utilisations du cadmium sont très variées : piles et accumulateurs nickel/cadmium, amendements agricoles, cigarettes.

Circulation dans l'environnement

Le cadmium se disperse depuis les centres d'enfouissement d'ordures ménagères et est présent dans les fumées et poussières des industries, ainsi que dans les boues d'épuration. L'épandage d'engrais ou les dépôts atmosphériques enrichissent les sols en cadmium. Une caractéristique notable du cadmium est son comportement dans les estuaires. En effet, si dans l'eau douce il est principalement lié aux éléments solides, la quantité de sel dans les eaux estuariennes entraîne sa libération sous sa forme dissoute, sous laquelle il est biodisponible.

Concentration maximale admise dans l'eau potable : 5 µg/L.

Toxicité

Après avoir transité par le foie, le cadmium atteint les reins où il s'accumule et altère la fonction rénale. Les poumons et les os sont aussi atteints en cas d'exposition prolongée.

• Les pollutions chimiques

L'industrie chimique, aujourd'hui largement réglementée (notamment par REACH)⁴², a conduit à la création et la dispersion dans l'environnement de nombreuses molécules dont la toxicité est avérée. La variété de ces molécules organiques de synthèse illustre une métamorphose de notre société et offre des domaines d'application très nombreux : industries pharmaceutiques, cosmétiques et de traitement de surface. De nouvelles molécules apparaissent chaque année et s'ajoutent au panel de substances dispersées dans l'environnement. En règle générale, les concentrations dans lesquelles on les trouve sont très faibles, mais les organismes aquatiques en contact régulier avec le contaminant subissent néanmoins un effet toxique.

Les Polychlorobiphényles (PCB) et les Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) sont deux familles de molécules dont les effets sur l'environnement et l'Homme ont été particulièrement étudiés. Ils sont liés à des utilisations différentes mais ont en commun leur toxicité à de très faible dose, ainsi que la variété de leurs impacts sur les êtres vivants (*cadres sur les PCB et les HAP page suivante*).

42/ REACH : Règlement européen sur l'enregistrement, l'évaluation, l'autorisation et restriction des substances chimiques, cf. cadre en fin de chapitre.

LES PCB (Polychlorobiphényles)

Formule : $C_{12}H_{10-x}Cl_x$

Utilisation

Stables et ininflammables, ces composés aromatiques organochlorés ont été utilisés comme isolants dans les transformateurs et les condensateurs, dans les plastifiants (adhésifs) et lubrifiants dans les turbines et les pompes. Les PCB ont été fabriqués jusqu'en 1985, date à laquelle leur commercialisation et leur utilisation ont été interdites.

Circulation dans l'environnement

Du fait de leur liposolubilité et de leur rémanence, les PCB se rencontrent fréquemment dans l'environnement : dans les sédiments, mais aussi concentrés dans les graisses animales, en particulier des animaux aquatiques, où ils font l'objet d'une bioaccumulation. Ces animaux peuvent ensuite transporter ces polluants (via la chaîne alimentaire), on parle de bioturbation. Les PCB sont sur la liste des Polluants organiques persistants (POP) établie par le Programme des Nations-Unies pour l'environnement (PNUE).

Concentration maximale admise dans l'eau potable (les PCB sont rattachés aux pesticides) :
0,1 µg/L par substance et 0,5 µg/L pour le total des substances.

Toxicité

Comme les autres êtres vivants, l'Homme peut subir une contamination par voie cutanée, digestive ou respiratoire, du fait d'empoisonnements par contacts réguliers avec de petites doses ou de contaminations accidentelles. Les PCB sont des cancérigènes probables, des perturbateurs endocriniens (paragraphe page suivante) et des mutagènes avérés.

LES HAP (Hydrocarbures aromatiques polycycliques)

Formule : au moins deux noyaux aromatiques.

Utilisation

En règle générale, l'origine des HAP est humaine. La combustion incomplète de combustibles (bois, essence, charbon) libère des HAP dans l'environnement. Les produits pétroliers contiennent également des HAP qui peuvent être libérés par des fuites dans les véhicules ou dans le cadre d'activités industrielles diverses, la pétrochimie en particulier. Un processus naturel proche de la fabrication du pétrole peut aussi générer des HAP dans les sédiments.

Circulation dans l'environnement

Ces polluants sont assimilés aux POP, ils se dispersent dans l'environnement majoritairement par les retombées atmosphériques.

Concentration maximale admise dans l'eau potable : 100 ng/L.

Toxicité

Les HAP sont fortement toxiques pour les organismes aquatiques. Transformés au sein des organes internes des poissons, ils génèrent divers effets mutagènes et cancérigènes. On les considère de plus comme des perturbateurs endocriniens. Chez l'Homme, l'intoxication est due à l'inhalation d'air contaminé, l'ingestion ou le contact cutané avec des matières polluées.

- **Les substances médicamenteuses et les perturbateurs endocriniens**

Les glandes endocrines sécrètent des hormones qui agissent comme des "messagers chimiques". Ces hormones déclenchent des réactions spécifiques régulant de nombreuses fonctions de l'organisme, telles que la croissance, la reproduction et le comportement. Or, parmi les milliers de molécules chimiques introduites dans l'environnement, certaines sont soupçonnées d'avoir des effets similaires à ceux des hormones naturelles et de perturber le système reproducteur, les **perturbateurs endocriniens** : des œstrogènes médicamenteux, des pesticides organochlorés (DDT), des plastifiants (bisphénol A, phtalates), des dioxines (PCB).

Plusieurs études ont montré que dans la Seine, une forte proportion de Gardons et de Truites mâles présentaient des signes de féminisation. Les hormones naturelles et de synthèse présentes dans les pilules contraceptives et d'autres produits pharmaceutiques rejetés dans les eaux usées seraient responsables de ce phénomène⁴³, qui pourrait se traduire par un déclin des populations. Les crustacés sont eux aussi sensibles aux perturbateurs endocriniens.

2/ COMPORTEMENT DES ÉLÉMENTS TOXIQUES VIS-À-VIS DES ÊTRES VIVANTS

- **La contamination des êtres vivants**

Une partie seulement de la quantité totale d'une substance présente dans l'environnement est absorbable par un être vivant : la fraction biodisponible. On exclut la quantité de polluants qui passe dans le système digestif des animaux sans être absorbée. L'absorption de la fraction biodisponible d'un polluant est la **bioaccumulation**.

Chez les végétaux, il s'agit des mécanismes d'absorption racinaires et foliaires. Chez les animaux, les processus concernés sont variés : les mécanismes respiratoires, digestifs, transcutanés et transbranchiaux. Le poisson est tout particulièrement révélateur de la contamination de son environnement car il est par nature totalement inféodé aux cours d'eau. Il est concerné par deux voies principales d'absorption : l'ingestion de nourriture et la filtration continue d'eau au niveau branchial⁴⁴.

Parmi les différents phénomènes de bioaccumulation, on distingue la bioconcentration et la bioamplification. Lorsque les polluants proviennent de l'eau environnante et que leur concentration dans un organisme est supérieure à celle à laquelle on les trouve dans l'environnement, on parle de **bioconcentration**. Lorsque les polluants s'accumulent dans un organisme proviennent de proies contaminées, on utilise le terme de **bioamplification**.

Tous les organismes subissent, à des degrés divers, le phénomène de bioaccumulation. En conséquence, la concentration augmente le long d'une chaîne trophique dans un environnement contaminé ; les concentrations maximales étant obtenues chez les carnivores secondaires. Les polluants pas ou très peu biodégradables sont caractéristiques de ce phénomène.

43/ "Nos rivières sont-elles devenues des poubelles ?", C. Lévêque, Le Pommier, Les Petites Pommes du Savoir, 2006.

44/ "L'eau dans l'espace rural – vie et milieux aquatiques", A. Neveu et al., INRA Éditions 2001.

- **Les différents types de toxicité**

Une toxicité s'établit selon les quantités absorbées et la durée d'exposition à une substance donnée :

- **la toxicité aiguë**

Elle provoque la mort ou des altérations physiologiques très graves après un court délai suivant l'absorption d'une dose importante d'une substance nocive. En guise d'exemple de ce type de toxicité très spectaculaire, on peut citer l'inhalation de monoxyde de carbone, l'ingestion d'un insecticide organophosphoré, de cyanure à de très faibles doses ou encore l'exposition d'un végétal à de faibles concentrations d'ozone.

- **la toxicité subaiguë**

Elle se caractérise par le fait qu'une proportion significative de la population peut survivre à l'intoxication tout en présentant des signes physiques de l'intoxication. Il peut s'agir du contact avec les mêmes substances que celles associées à une toxicité aiguë, mais à des concentrations moindres.

- **la toxicité à long terme**

C'est le cas le plus courant. Elle est la manifestation du risque lié au contact prolongé à de très faibles concentrations de polluants. L'exposition permanente est généralement la conséquence de la contamination de l'environnement direct de l'individu considéré (air, eau, sol).

L'étude de la toxicité parmi ce cocktail de substances diverses n'en est que plus difficile. En effet, deux ou plusieurs substances peuvent voir leur toxicité modifiée par cette cohabitation. On distingue ainsi l'**antagonisme**, par lequel les effets toxiques de deux substances se compensent ou s'annulent, et la **synergie**, phénomène par lequel l'effet toxique observé dépasse les effets cumulés des deux substances prises isolément.

- **Les principaux effets de l'exposition à des polluants**

La diversité des micropolluants, organiques ou minéraux, va de pair avec la variété des types de toxicité. Des effets toxiques peuvent être observés chez les végétaux à différents niveaux, les différents herbicides sont une utilisation de cette toxicité qui peut se localiser sur les feuilles, sur le système racinaire, altérer la croissance ou la germination. Les animaux dont l'organisme est plus complexe peuvent être sujets à de nombreux types de toxicité. Parmi eux, on distingue :

- **la perturbation des fonctions vitales**

L'impact peut se localiser au niveau du système respiratoire, des organes dits "détoxifiants" (foie, reins), ou encore du système immunitaire.

- **la neurotoxicité**

Elle concerne les cellules du système nerveux. Un blocage de leur fonction, même très bref, induit de graves lésions pouvant être fatales.

- **la perturbation endocrinienne**

Il s'agit de l'action du polluant toxique sur l'activité hormonale de l'animal. Elle peut, d'une part, être liée à l'action sur une glande endocrine. D'autre part, elle peut résulter d'une neurotoxicité perturbant le système hormonal. Les équilibres neuroendocriniens sont en effet essentiels pour l'équilibre hormonal de l'organisme.

- **les perturbations de la fécondité**

La fécondité peut être affectée par action directe sur les gonades ou en agissant sur l'embryon. Certains toxiques aux effets tératogènes induisent des malformations corporelles chez la descendance de l'individu exposé au toxique.

- l'allergogénèse

C'est, chez l'Homme, l'effet le plus courant consécutif à l'exposition à de très nombreuses substances minérales et organiques générant différentes réactions allergiques. L'asthme est une manifestation caractéristique des toxiques aériens, plus répandue en milieu urbain.

- la génotoxicité

L'expression de ce type de toxicité est la mutagenèse. Un effet mutagène affecte le code génétique d'une cellule. Ces effets peuvent être à l'origine de l'apparition de cancers (effets carcinogènes).

• L'évaluation de l'état écologique des milieux aquatiques

L'analyse de la concentration dans l'eau, l'air ou le sol d'un élément toxique n'apporte pas d'information directe sur son **écotoxicité**, c'est-à-dire son impact sur les êtres vivants peuplant le milieu considéré. Il est donc pertinent de s'attacher à l'étude des êtres vivants, envisagés alors comme des **indicateurs de la contamination d'un milieu**.

Un **biomarqueur** est un "changement biochimique, cellulaire, physiologique ou comportemental qui peut être mesuré dans des tissus ou des fluides corporels, et qui met en évidence l'exposition aux effets d'un ou plusieurs polluants chimiques"⁴⁵. Leur rôle est donc de permettre une évaluation de l'état écologique des milieux aquatiques. Ces biomarqueurs ont été catégorisés en **biomarqueurs de défense** (à l'origine de mécanismes de défense permettant aux organismes de survivre dans un environnement détérioré) et en **biomarqueurs de dommage** (traduisant une atteinte biologique pouvant conduire à une incapacité à se reproduire, voire à survivre).

Certaines espèces sont privilégiées pour étudier leurs biomarqueurs : ce sont les **espèces sentinelles**. Elles permettent d'alerter sur un dysfonctionnement ou un déséquilibre du milieu. Elles peuvent être :

- une espèce **bioindicatrice** (critères d'absence ou d'abondance des individus) ;
- une espèce **bioaccumulatrice** (forte capacité d'accumulation permettant de surveiller le degré de contamination d'un milieu) ;
- une espèce dont les **modifications de paramètres biologiques** sont utilisées pour évaluer les risques associés à la présence de xénobiotiques.

LA RÉGLEMENTATION REACH

Face aux risques environnementaux générés par l'introduction de nombreuses substances chimiques, la réglementation européenne REACH (enregistrement, évaluation, autorisation et restriction des substances chimiques) est entrée en vigueur en 2007. Elle a pour objectif de protéger la santé humaine et l'environnement contre les risques que peuvent poser les produits chimiques, et de faire porter à l'industrie la responsabilité d'évaluer et de gérer ces risques, et de fournir des informations de sécurité adéquates à leurs utilisateurs.

Il s'agit notamment de remplacer les substances les plus dangereuses par d'autres moins dangereuses. REACH identifie les "substances extrêmement préoccupantes", nécessitant une autorisation pour leur production. Ce sont notamment les substances chimiques pouvant provoquer un cancer, endommager le matériel génétique, ainsi que les perturbateurs endocriniens, les substances persistantes (ne pouvant être décomposées par la nature) et les substances bioaccumulables (s'accumulant dans les organismes des êtres vivants).

III. La protection des milieux aquatiques

A. MOYENS DE PROTECTION

1/ LA LÉGISLATION FRANÇAISE ET EUROPÉENNE

La protection des écosystèmes aquatiques dans la législation sur l'eau

Si l'on sait que la qualité de l'eau est fortement corrélée à la présence et à la qualité des écosystèmes aquatiques (par exemple la végétation des berges des cours d'eau), leur préservation et leur mise en valeur ont été progressivement intégrées dans la législation française.

Pilier de base de la politique de l'eau, la **loi sur l'eau du 16 décembre 1964, relative au régime et à la répartition des eaux et à la lutte contre leur pollution** ne fait qu'évoquer la vie biologique du milieu récepteur et la faune piscicole.

La **loi du 29 juin 1984 relative à la pêche en eau douce et à la gestion des ressources piscicoles** vise à renforcer la protection du milieu piscicole et la préservation des milieux aquatiques, mais demeure essentiellement centrée sur la pêche.

Dans la **loi sur l'eau du 3 janvier 1992**, qui se concentre sur la protection de la qualité et de la quantité des ressources en eau, l'article 2 annonce néanmoins que "la gestion équilibrée de la ressource en eau vise à assurer la préservation des écosystèmes aquatiques, des sites et des zones humides".

L'Europe adopte le **23 octobre 2000 une Directive cadre sur l'eau** (DCE – transposition en droit français par la loi du 4 avril 2004) qui va donner un coup d'accélérateur à la protection des écosystèmes aquatiques. Son objectif est d'atteindre d'ici à 2015 le bon état des différents milieux aquatiques sur tout le territoire européen. Cette directive introduit de nouvelles méthodes d'analyses et de suivi prenant désormais en compte l'état écologique des masses d'eau (paramètres biologiques : flore aquatique, faune benthique invertébrée, ichtyofaune ; paramètres hydromorphologiques : qualité physique du lit majeur, des berges et de la ripisylve).

Quelques années plus tard, la **Loi sur l'Eau et les milieux aquatiques** du 30 décembre 2006 (LEMA) donne une nouvelle orientation à la politique de l'eau en France et place la notion de protection des milieux au même niveau que la protection de l'eau. La LEMA favorise la reconquête de la qualité écologique des cours d'eau et propose des moyens adaptés, tels que l'entretien des cours d'eau par des méthodes douces, la reconstitution de la continuité écologique des cours d'eau, des plans d'action pour les zones humides, des outils juridiques pour protéger les frayères, le franchissement des ouvrages hydrauliques par les poissons migrateurs, des sanctions contre le braconnage d'espèces de poissons protégées, etc. Elle institue la création de l'Office national de l'eau et des milieux aquatiques (ONEMA) chargé de mener et soutenir des actions destinées à favoriser une gestion globale, durable et équilibrée de la ressource en eau, des écosystèmes aquatiques, de la pêche et du patrimoine piscicole.

Depuis, **les lois Grenelle 1 et 2** (de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement du 3 août 2009 et portant engagement national pour l'environnement du 12 juillet 2010) renforcent la protection de la biodiversité aquatique par l'élaboration de la trame verte et bleue (afin de restaurer les continuités écologiques des milieux terrestres et aquatiques) et la protection des zones humides.

Afin de répondre aux objectifs fixés par la DCE et la loi Grenelle 1, un **plan d'action de l'État pour la restauration de la continuité écologique des cours d'eau d'ici à 2015** a été lancé fin 2009.

Pour aller plus loin :
GÉOGRAPHIE

> La notion de bassin versant dans la législation sur l'eau

Pour aller plus loin :
HISTOIRE

> La protection de la santé dans la législation sur l'eau

Pour aller plus loin :
SCIENCES ET TECHNIQUES

> Les contraintes de traitement des eaux usées dans la législation sur l'eau

2/ LES OUTILS JURIDIQUES

Les écosystèmes de la région parisienne constituent un très riche patrimoine naturel à préserver. Pour mener à bien cet objectif de protection des habitats et des espèces, différents moyens de protection sont utilisés par les collectivités, l'État et l'Europe. La carte suivante présente les espaces naturels protégés de la région parisienne (figure 33).

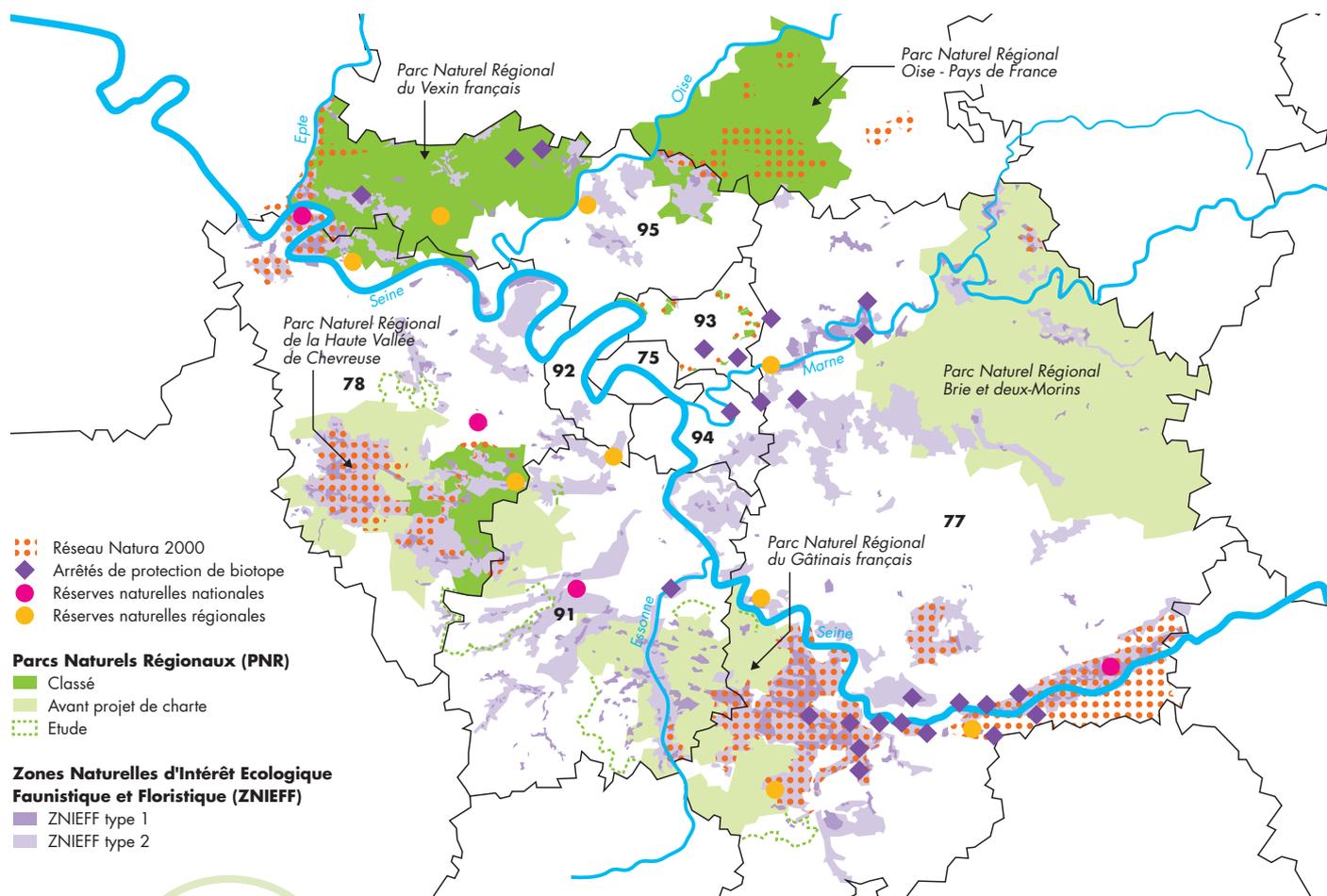


Figure 33 : Les espaces naturels protégés d'Île-de-France

© SIAAP d'après l'application Cartographie du Ministère de l'Environnement (CARMEN) et les données DRIEE Île-de-France.

- **Les Zones d'intérêt écologique, faunistique et floristique**

L'inventaire des Znieff est établi sous le contrôle du ministère en charge de l'environnement. Il concrétise la prise de conscience de la valeur du patrimoine naturel en délimitant les territoires d'intérêt particulier pour les espèces vivantes et leurs habitats. On distingue les Znieff de type I, où résident une ou plusieurs espèces remarquables ou caractéristiques du patrimoine national ou régional, et les Znieff de type II qui sont de grands ensembles naturels, riches et peu modifiés, aux potentialités biologiques importantes. Il n'y a pas de contraintes réglementaires résultant du classement en Znieff, mais il permet la prise en considération de la valeur écologique d'un territoire⁴⁶.

- **Le zonage du Plan local d'urbanisme**

Les **communes** peuvent inscrire des espaces à préserver dans leur Plan local d'urbanisme, le principal document d'urbanisme de planification au niveau communal. Les zones naturelles et forestières (zones N) correspondent aux secteurs de la commune à protéger en raison de la qualité des sites, des milieux naturels, des paysages et de leur intérêt, notamment du point de vue esthétique, historique ou écologique.

- **Les espaces naturels sensibles des départements**

Les **départements** ont la possibilité de mettre en œuvre une politique de protection, de gestion et d'ouverture au public des espaces naturels sensibles de leur territoire afin de préserver la qualité des sites, des paysages et des milieux naturels. À cette fin, le Conseil général vote l'institution d'une taxe spécifique perçue lors de la construction ou de travaux immobiliers : la Taxe départementale des espaces naturels sensibles (TDENS). Elle permet notamment l'acquisition de terrains par le département. Le nombre d'espaces naturels sensibles et la superficie concernée varient fortement selon les départements. Ils n'ont pas été indiqués sur la figure 33.

- **Les Parcs naturels régionaux**

L'**État** crée les Parcs naturels régionaux sur proposition des **régions**. C'est le Ministère chargé de l'environnement qui approuve le contenu de la Charte de chaque Parc naturel régional et propose au Premier ministre son classement par décret. Un PNR est créé pour protéger et mettre en valeur un territoire à dominante rurale dont les paysages, les milieux naturels et le patrimoine culturel sont de grande qualité, mais dont l'équilibre est fragile. Un PNR s'organise autour d'un projet concerté de développement durable⁴⁷. La France compte 46 PNR en 2011 pour 101 départements. En Île-de-France, 4 PNR ont été mis en place et un cinquième est en projet :

- Parc naturel régional Oise - Pays de France (départements 95 et 60)
- Parc naturel régional du Vexin français (95 et 78)
- Parc naturel régional de la Haute Vallée de Chevreuse (78, 91)
- Parc naturel régional du Gâtinais français (91, 77)
- Parc naturel régional Brie et deux-Morins *en projet* (77)

Un parc national est également en projet (Forêt de Fontainebleau).

46/ ZNIEFF : www.ile-de-france.ecologie.gouv.fr/spip.php?rubrique293
47/ Parcs Naturels Régionaux : www.parcs-naturels-regionaux.fr/fr/accueil

- **Les réserves naturelles**

On distingue les **réserves naturelles nationales** (anciennes réserves naturelles) des **réserves naturelles régionales** (par évolution du statut des réserves naturelles volontaires) ; le classement est opéré par l'État ou par la région. Cet outil réglementaire permet de protéger un espace sur le long terme et est dédié aux zones présentant des enjeux patrimoniaux très forts (géologie, flore, faune, écosystème, paysage). L'Île-de-France compte quatre réserves naturelles nationales et dix réserves naturelles régionales (dont un site du SIAAP, la réserve naturelle du bassin de la Bièvre, p 67). Par ailleurs, il existe en Île-de-France un autre type de réserve : la **réserve de biosphère** de Fontainebleau-Gâtinais. Ce label est délivré par l'UNESCO à un territoire d'enjeu patrimonial international bénéficiant d'une protection réglementaire pérenne⁴⁸.

- **Les arrêtés de protection de biotope**

La protection de biotopes est menée à l'initiative de l'État par le **préfet de département**. Il s'agit d'un outil de protection fort qui concerne un espace pouvant être très restreint. Le terme biotope correspond à une aire géographique bien délimitée, caractérisée par des conditions particulières (géologiques, hydrologiques, climatiques, sonores) et nécessaire à l'alimentation, à la reproduction, au repos ou à la survie d'espèces de la faune et de la flore. Il s'agit par exemple de mares, marécages, marais, haies, bosquets, landes, dunes, pelouses, mais parfois aussi d'un lieu artificiel (combles d'une église, carrières). La région parisienne compte 36 arrêtés préfectoraux de biotope⁴⁹.

- **Le réseau Natura 2000**

Le réseau Natura 2000 est la traduction d'un objectif de l'**Union Européenne** : la préservation de la biodiversité. Les textes législatifs sont la directive "oiseaux" (1979) et la directive "Habitat-Faune-Flore" (1992). On dénombre 35 sites Natura 2000 en Île-de-France (2007). Les principaux milieux concernés sont les forêts, les zones humides, les pelouses calcaires, les landes et les cours d'eau. Les cours d'eau classés sont l'Yerres, le petit Morin, la rivière du Dragon, le Vannetin, le Loing, le Lunain, l'Epte et ses affluents. Le classement de ces 634 hectares est notamment lié à la présence du Chabot, de la Bouvière, de la Loche de rivière et de la Lamproie de Planer⁵⁰.

48/ Réserves naturelles : www.reserves-naturelles.org ; www.ile-de-france.ecologie.gouv.fr/spip.php?rubrique289

49/ Arrêtés de Protection de Biotope : www.ile-de-france.ecologie.gouv.fr/spip.php?rubrique207

50/ Natura 2000 : www.ile-de-france.ecologie.gouv.fr/spip.php?rubrique187

B. SURVEILLANCE DES COURS D'EAU

Les stations d'épuration réalisent un abattement des pollutions contenues dans les eaux usées qu'elles traitent. En fonction de la qualité du traitement, le rejet peut modifier la composition du cours d'eau récepteur, parfois jusqu'à de longues distances en aval du rejet. Il faut toutefois considérer les processus naturels d'autoépuration par lesquels le cours d'eau dégrade les polluants résiduels.

Chaque jour, quelques 2 500 000 mètres cubes d'eau usée sont épurés par les cinq (et bientôt six) usines d'épuration du SIAAP et rejoignent la Seine et la Marne. La qualité de ces rejets fait du SIAAP un acteur de premier plan vis-à-vis de la qualité des cours d'eau en région parisienne. Pour appréhender l'impact de ses installations, le SIAAP assure une surveillance générale du milieu récepteur grâce à quatre réseaux de mesures :

- le réseau de surveillance de la **qualité physico-chimique et bactériologique**
- le réseau de mesure de l'**oxygène dissous en Seine**
- les campagnes d'analyses de la **qualité hydrobiologique**
- le suivi de la **faune piscicole**.

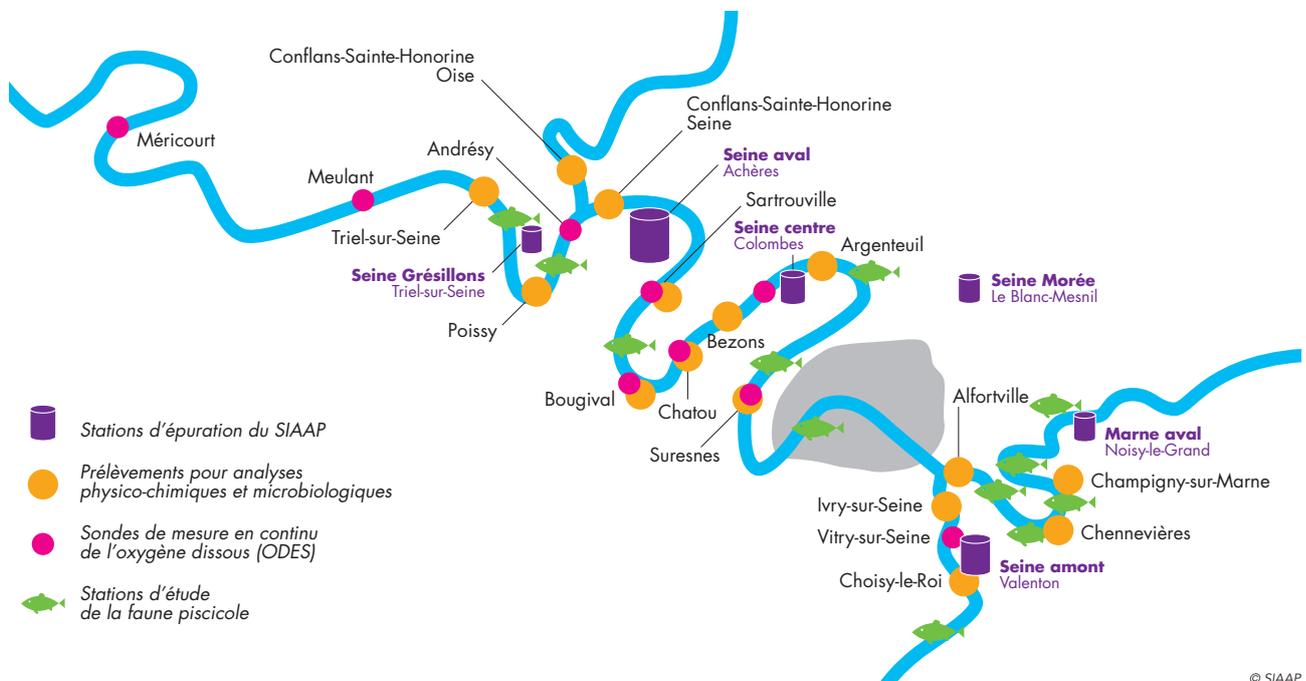


Figure 34 : Stations d'étude et de mesure du SIAAP

1/ LA SURVEILLANCE DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES ET BACTÉRIOLOGIQUES

Le réseau de surveillance analytique comporte quinze points de mesures répartis sur la Seine, la Marne et l'Oise (au niveau de sa confluence avec la Seine), et couvre un linéaire de 100 km sur la Seine et 13 km sur la Marne (figure 34). La répartition de ces stations reflète les points-clés relatifs aux impacts anthropiques sur les cours d'eau. Parmi les stations analysant l'état de la Seine, on observe notamment Choisy (94), à l'amont de l'agglomération parisienne, Suresnes (92) à l'aval de Paris, Sartrouville (78), après la traversée de l'agglomération mais avant le rejet de l'usine d'épuration Seine aval, Poissy (78), après le rejet de Seine aval. Des prélèvements sont effectués hebdomadairement et permettent l'analyse d'un large panel de paramètres.

Pour aller plus loin :
SCIENCES ET TECHNIQUES

> Les paramètres de pollution des eaux usées

Pour chacun des paramètres analysés, la qualité de l'eau est évaluée selon un code couleur correspondant à cinq classes de qualité. L'objectif est d'atteindre le bon état en 2021.

Très bon état	Bon état	État moyen	État médiocre	Mauvais état
---------------	----------	------------	---------------	--------------

- le débit et la température

Ces facteurs hydrologiques et climatiques sont pris en compte car ils influencent les processus physico-chimiques dont dépendent les autres mesures. La température de la Seine à Paris est comprise en moyenne entre 3 et 25°C.

- le pH et la conductivité

Compris entre 7 et 8, le pH de l'eau de la Seine est de très bonne qualité. La conductivité de l'eau augmente légèrement au cours de la traversée de l'agglomération parisienne ; elle est due aux rejets urbains. Sa mesure fournit des informations sur la qualité et la quantité de matières dissoutes dans l'eau.

- les polluants azotés et phosphorés

Les paramètres correspondant aux matières phosphorées (PO_4^{3-} , phosphore total) sont globalement situés dans la classe de qualité bonne. Les données sont plus contrastées pour les matières azotées : classes bonne et moyenne pour l'ammonium (NH_4^+), classes très bonne à médiocre pour les nitrites (NO_2^-), et classe bonne partout pour les nitrates (NO_3^-). Les plus mauvaises classes de qualité se rencontrent à l'aval des rejets de stations d'épuration.

- les chlorures et sulfates

La concentration en chlorures et en sulfates augmente dans l'agglomération parisienne du fait des divers rejets urbains, notamment à l'aval de Seine aval.

- la matière organique

On utilise la Demande biochimique en oxygène pour estimer la teneur en matières organiques biodégradables d'une eau. La DBO_5 est la quantité de dioxygène nécessaire aux micro-organismes aérobies de l'eau pour oxyder les matières organiques, dissoutes ou en suspension dans l'eau, au cours des procédés d'autoépuration ; elle est mesurée au bout de cinq jours. La Seine et la Marne sont de très bonne qualité pour la DBO_5 , excepté à l'aval de Seine aval où son impact résiduel se fait sentir.

- les polluants spécifiques

On distingue les polluants non synthétiques (arsenic, chrome, cuivre, zinc) et les synthétiques. Seuls le cuivre et le zinc dépassent les normes de qualité environnementale.

- 41 substances chimiques

Ce sont les substances potentiellement nocives les plus susceptibles d'être retrouvées dans le milieu naturel (Naphtalène, HAP, Atrazine, Chloroforme, Plomb). Elles respectent généralement les normes de qualité environnementale mais les laboratoires ne sont pas encore capables de toutes les mesurer avec un niveau de finesse suffisant. Douze substances ont été quantifiées en Seine (dont celles soulignées ci-dessus).

- les bactéries

Les bactéries (Escherichia Coli, Entérocoques intestinaux, Coliformes totaux) recherchées pour le contrôle de la qualité bactériologique des eaux sont des indicateurs de contamination fécale. Leur présence et plus précisément leur abondance alertent sur la présence potentielle de bactéries pathogènes, avec un niveau de risque sanitaire associé. Les stations d'épuration classiques éliminent 99,9 % des bactéries présentes. L'ajout de traitements de désinfection complémentaires au sein des filières (traitement par ultra-violet sur l'usine Marne aval, traitement membranaire sur l'usine Seine Morée) permet d'affiner fortement l'élimination microbienne et de rendre au milieu naturel une eau de très bonne qualité microbiologique.

Il n'existe pas d'obligation réglementaire de contrôler la qualité bactériologique des eaux de rejet des stations d'épuration. En revanche, le contrôle des eaux de surface devient obligatoire pour des usages particuliers, tels que la baignade (Directive 2006/7/CE) ou la production d'eau potable (Directive 76/160/CEE).

En région parisienne, le contrôle de la qualité bactériologique des eaux de surface répond essentiellement à un enjeu sanitaire. Les densités de bactéries en Seine ont très nettement diminué ces dernières années. Cette meilleure situation est la conséquence de l'amélioration de la performance des filières de traitement des eaux usées et de la diminution des déversements d'eaux non traitées lors d'événements pluvieux. Malgré tout, la Seine, non baignable dès l'amont de la région parisienne, se dégrade et s'enrichit en bactéries au cours de la traversée de l'agglomération. On trouve ainsi cinq fois plus de bactéries à Poissy (aval) qu'à Choisy (amont).

Pour aller plus loin :
GÉOGRAPHIE

> Les bactéries responsables
de maladies hydriques

La chlorophylle

Mesurée au printemps et en été, elle permet d'estimer le développement du phytoplancton et d'apprécier le degré d'eutrophisation de l'eau. La Seine est dans l'ensemble de très bonne qualité pour ce paramètre.

2/ LE SUIVI DE L'OXYGÈNE DISSOUS EN SEINE (ODES)

Le réseau ODES (Oxygène dissous en Seine) est un dispositif de mesure en continu de l'oxygène dissous et de la température dans la Seine. Le suivi automatisé est assuré toute l'année au rythme d'une mesure toutes les quinze minutes. Le réseau compte huit stations de mesures réparties sur plus de 100 km en aval de Paris, plus une station en amont à Vitry-sur-Seine (figure 34). Le dioxygène dissous est un paramètre privilégié : il reflète la qualité de l'eau et constitue un élément essentiel aux diverses formes de vie aquatiques ainsi qu'aux processus d'autoépuration.

Le niveau de dioxygène dissous en Seine est situé en classe de qualité très bonne durant huit mois de l'année (figure 35). La solubilité de l'oxygène dans l'eau diminue avec la température (dioxygène dans l'eau, page 36). Ainsi, à son meilleur niveau en hiver, il se dégrade au printemps et se situe en été principalement dans les classes de qualité bonne et moyenne, puis remonte dans la classe supérieure à l'automne. Les deux stations de mesure situées juste à l'amont (Alfortville) et à l'aval de Paris (Suresnes) sont relativement similaires, on peut donc conclure que l'agglomération parisienne impacte faiblement la qualité de l'oxygénation. Les deux stations les plus en aval (Sartrouville et Meulan) sont ponctuellement impactées en été par les brusques pluies d'orages qui entraînent des rejets d'eaux partiellement traités dans la Seine et dégradent son oxygénation ; le taux de dioxygène dissous atteint alors exceptionnellement les classes de qualité médiocre et mauvaise.

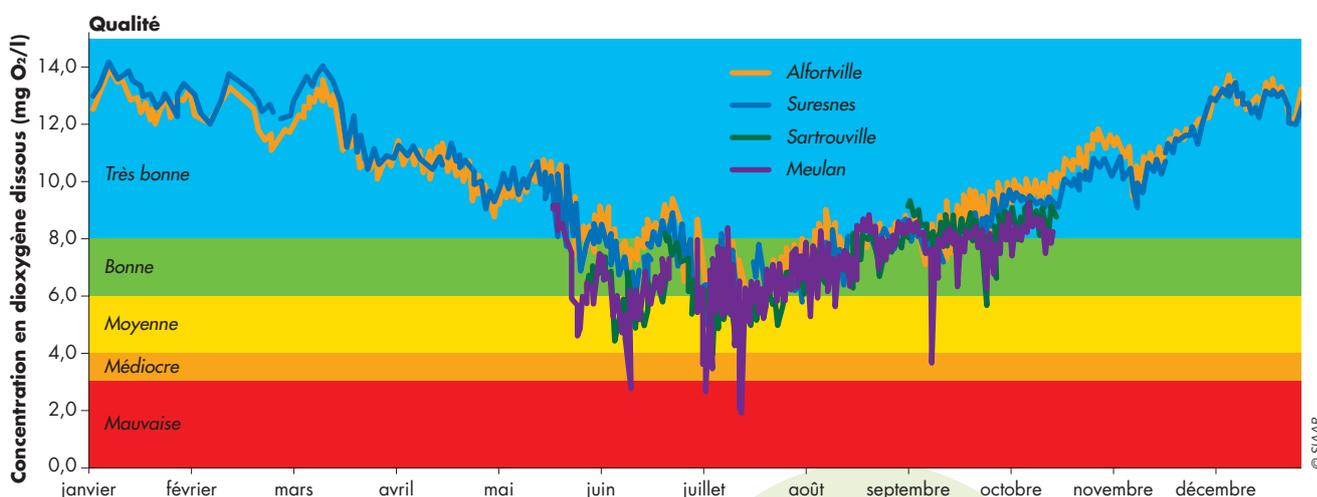


Figure 35 : Teneur en dioxygène dissous en Seine en 2010

3/ LES CAMPAGNES D'ANALYSES DE LA QUALITÉ HYDROBIOLOGIQUE ET LES INDICES BIOLOGIQUES

On l'a vu, l'Homme est responsable de la dispersion d'une grande variété d'éléments dans les milieux aquatiques. Il est donc très complexe d'évaluer leurs impacts sur les écosystèmes et d'appréhender la santé d'une masse d'eau en y contrôlant les concentrations de diverses substances. Il convient de s'attacher à des paramètres dits "intégrateurs", c'est-à-dire de nature à révéler l'incidence de plusieurs paramètres perturbateurs de l'écosystème. La Directive cadre sur l'eau de 2000 (*législation sur l'eau p 46*) a orienté l'évaluation de la qualité des écosystèmes aquatiques dans cette optique.

Un écosystème est formé d'un milieu, aux caractéristiques physiques et chimiques propres, et d'une association d'espèces, selon un équilibre parfois fragile. Les méthodes biologiques d'estimation de la qualité de l'eau se basent sur les espèces vivantes du milieu pour détecter toute altération physique ou chimique du milieu. On utilise alors des **espèces sentinelles** dont les caractéristiques quantitatives et qualitatives révèlent l'état d'un écosystème. La plupart de ces espèces sont des **bioindicateurs**, certaines sont bioaccumulatrices (*contexte p 45*). Parmi les nombreux bioindicateurs, on distingue en fonction de la méthode biologique choisie les peuplements de diatomées, de végétaux supérieurs, de macro-invertébrés ou de poissons qui peuvent être étudiés pour qualifier l'état d'un cours d'eau.

La mise en place de **quatre indices biologiques** (le quatrième est présenté dans la partie suivante) a été basée sur la connaissance de l'écologie de ces espèces et leur abondance relative dans un relevé, permettant de définir, avec l'obtention d'une note, un niveau moyen de pollution d'un cours d'eau. Les valeurs de ces indices sont réparties dans les cinq classes de qualité d'eau définies précédemment (*figure 36*). Ces notes permettent par la suite d'obtenir des cartes de la qualité biologique des rivières.

Indice \ Qualité	Très bonne	bonne	moyenne	médiocre	mauvaise
IBGA	≥17	[13 ; 17[	[9 ; 13[	[5 ; 9[	[0 ; 5]
IBD	≥17	[13 ; 17[	[9 ; 13[	[5 ; 9[	[0 ; 5]
IPR	[0 ; 7]	]7 ; 16]	]16 ; 25]	]25 ; 36]	>36

© SIAAP

Figure 36 : Limites des classes de qualité des indices biologiques

Le SIAAP réalise depuis 2000, en période estivale (début juillet à fin septembre), des campagnes d'analyses de la qualité hydrobiologique des eaux à proximité de ses stations d'épuration.

• L'Indice biologique global normalisé (IBGN)

L'IBGN est une méthode utilisée dans les cours d'eau destinée à traduire leur aptitude au développement de la macrofaune, c'est-à-dire les organismes visibles à l'œil nu. Intégrant à la fois la qualité physico-chimique de l'eau et la diversité des habitats du cours d'eau, cette méthode se base sur l'étude des macro-invertébrés présents dans les rivières : insectes (adultes et larves), crustacés, mollusques et vers. Elle aboutit à un diagnostic global de la qualité biologique du cours d'eau tout en présentant une certaine facilité d'application. Cet indice est le plus utilisé en France.

Cet indice est dit normalisé, sa mise en œuvre s'établit donc selon un protocole précis. Celui-ci prévoit le matériel et les zones de prélèvements, ainsi qu'un ordonnancement des espèces ou familles en fonction de leur sensibilité. Cet outil a évolué pour une utilisation dans le cadre de la législation européenne, qui demande de comparer le peuplement observé à une population de référence des points de vue qualitatif et quantitatif, par rapport à des ratios entre espèces sensibles et résistantes, en fonction d'un échantillonnage représentatif du milieu.

L'IBGN est performant, mais présente des limites dans ses conditions d'application. Il est en effet impossible d'établir un IBGN dans des milieux spécifiques, comme la zone des sources, les canaux, ainsi que pour les grands cours d'eau, tels que la Seine.

• **L'Indice biologique global adapté aux grands cours d'eau (IBGA)**

L'IBGA a été développé pour combler les manques quant à l'applicabilité de l'IBGN aux grands cours d'eau. Il prévoit un système d'échantillonnage adapté aux fleuves. Le protocole lié à l'établissement de l'IBGA et la liste des organismes sont identiques à ceux de l'IBGN. Les différences se situent au niveau des zones de prélèvement qui prennent en compte les difficultés d'accès au fond du cours d'eau.

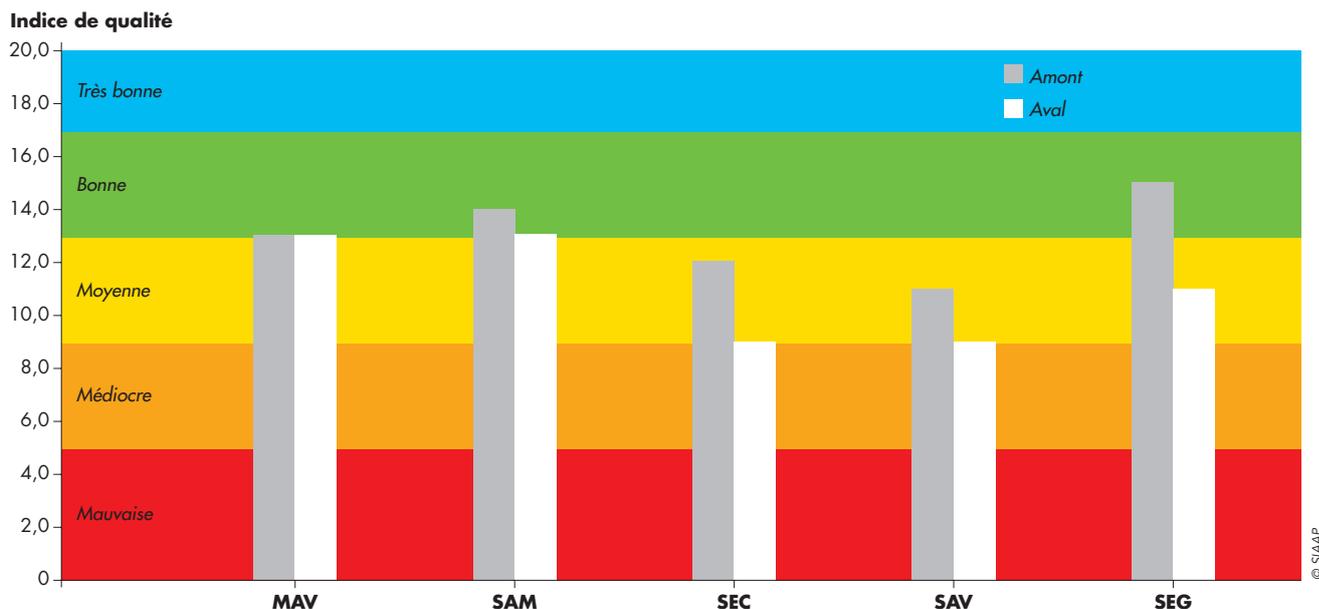


Figure 37 : IGBA au niveau des usines du SIAAP (2010)

Afin d'évaluer l'impact de son activité sur la qualité biologique de la Seine et de la Marne, le SIAAP compare la vie aquatique en amont et en aval de ses cinq usines au moyen de l'IBGA. Les IBGA mesurés à proximité des usines du SIAAP indiquent globalement un niveau moyen, à l'exception de l'amont des usines Seine amont (SAM) et Seine Grésillons (SEG) en bonne qualité : on note aussi que Marne aval (MAV) est en limite de la classe bonne qualité, et l'aval des usines Seine centre (SEC) et Seine aval (SAV) est en limite de la classe qualité médiocre (figure 37). On observe une légère diminution localisée de l'indice après les usines. Grâce à l'effet de dilution et à l'autoépuration du fleuve, l'indice IBGA remonte ensuite à ses valeurs initiales après quelques kilomètres, voire même plus haut. On peut observer ce phénomène entre l'aval de Seine aval et l'amont de Seine Grésillons. Au niveau de Marne aval, les micro-invertébrés n'apparaissent pas impactés.

• **L'Indice biologique diatomées (IBD)**

Les diatomées sont des algues microscopiques enveloppées d'un squelette de silice. La forme et l'ornementation de ce squelette appelé frustule déterminent les 11 000 espèces qui colonisent tous les types d'eaux. La rapidité de leur cycle de développement et leur sensibilité aux pollutions font des diatomées de bons indicateurs biologiques pour caractériser la qualité de l'eau. En effet, elles ne dépendent pas du substrat pour se développer mais uniquement de la qualité physico-chimique et organique de l'eau. Pour déterminer un IBD, on effectue une série de prélèvements par broyage des substrats durs (pierres, galets, blocs) ou par essorage des supports végétaux afin de faire l'inventaire du peuplement⁵¹.

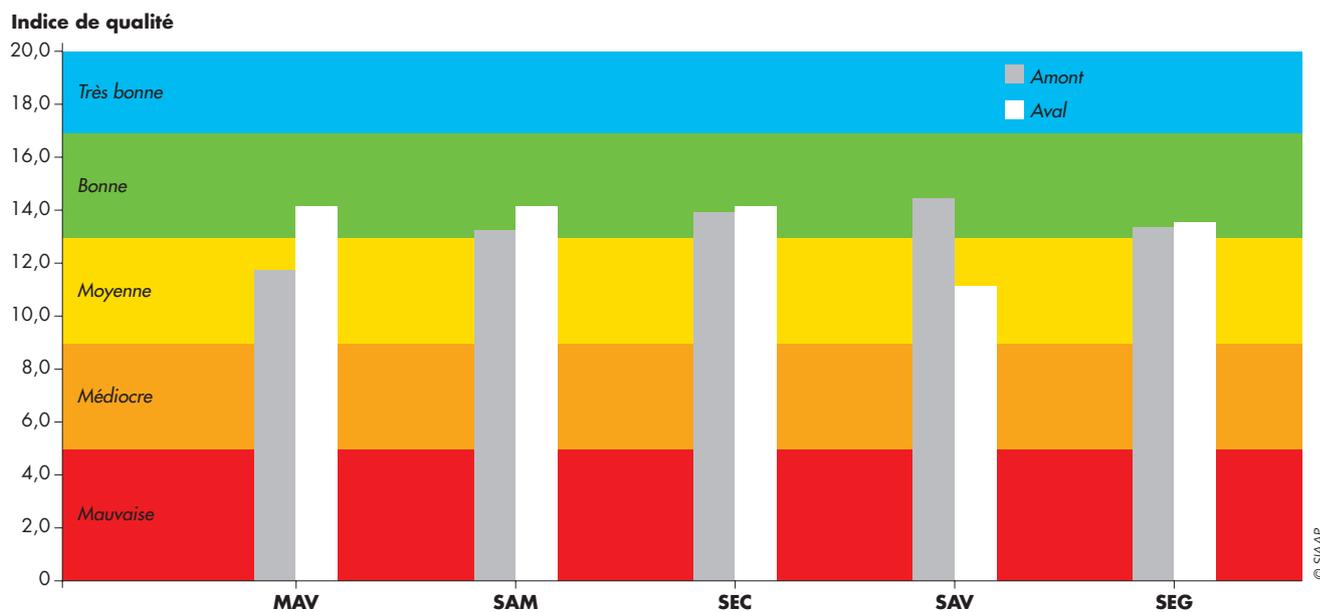


Figure 38 : IBD au niveau des usines du SIAAP (2010)

À proximité des cinq usines du SIAAP, les IBD présentent des scores appartenant principalement à la catégorie bonne qualité, seuls l'amont de Marne aval et l'aval de Seine aval présentent un niveau moyen (figure 38). On constate que les rejets des usines du SIAAP n'entraînent pas de dégradation de cet indice (excepté une légère diminution à Seine aval).

4/ LE SUIVI DE LA FAUNE PISCICOLE

Le SIAAP procède depuis 1990 à l'étude des peuplements de poissons de la Seine et de la Marne sur son territoire. Désormais, douze stations d'échantillonnages sont réparties sur ces deux cours d'eau entre l'amont et l'aval de l'agglomération parisienne (figure 34). Le suivi comprend un recensement piscicole par pêches électriques pour le calcul d'un indice biologique, ainsi qu'une recherche de certains micropolluants dans les chairs des poissons sur quatre stations.

• Les pêches électriques

Les campagnes de pêches sont réalisées par l'ONEMA (Office national de l'eau et des milieux aquatiques), en partenariat sous convention avec le SIAAP.

Lors d'une pêche électrique, les poissons sont soumis à un courant électrique continu généré par deux électrodes plongées dans l'eau. La cathode reste immobile (accrochée au bateau), alors que l'anode est manipulée par le pêcheur. Le courant perturbe le système nerveux des poissons, dont la motricité est d'abord inhibée (ils cessent de bouger), puis génère un mouvement contraint des poissons vers l'anode. La capture s'effectue ensuite à l'épuisette (figure 39). Pour les grands cours d'eau, l'exhaustivité est impossible.

Les données sur la faune piscicole doivent être observées avec précaution. En effet, la population de poissons peut présenter de fortes variations interannuelles (qualité et quantité) du fait d'événements environnementaux de l'année écoulée (pluviométrie, crue, ensoleillement, températures de l'air et de l'eau, qualité du frai, pression de la prédation, etc.) et des conditions environnementales subies pendant les campagnes de pêches scientifiques (pluie, soleil, orage, turbidité de l'eau, température, vent, etc.), qui ont lieu seulement quelques semaines par an en juin/juillet.

Les informations suivantes sont recueillies à l'issue de chaque pêche :

- la liste des espèces capturées (donc la richesse spécifique)
- l'effectif total capturé par espèce
- la taille de chaque individu pêché
- la biomasse de chaque espèce
- des éléments d'évaluation de l'effort de pêche.



© SIAAP

Figure 39 : Campagne de pêche électrique (Pêche électrique en Seine réalisée par l'ONEMA en juillet 2008 ; pesée et remise à l'eau d'un Brochet ; dissection d'un Gardon par un chercheur de l'Université du Havre)

• Les résultats

Le nombre cumulé d'espèces identifiées depuis 1990 est de **32 espèces de poissons** (figure 40). Ces douze dernières années, la biodiversité piscicole observée lors d'une campagne de pêche est comprise entre 19 et 24 espèces différentes. En 2010, la diversité d'espèces obtenue lors de la campagne de pêche électrique était de 21 espèces piscicoles différentes. Notons que cette richesse spécifique est plus basse pour les stations situées en amont de l'agglomération parisienne : huit espèces identifiées à Gournay sur la Marne et neuf espèces à Villeneuve-Saint-Georges sur la Seine.

Les espèces dont la présence est le plus souvent constatée sont l'Ablette, le Goujon, le Chevesne, le Gardon, l'Anguille et la Perche, des espèces communes et résistantes à la pollution de l'eau et à la dégradation physique du milieu. Ce panel récurrent traduit la forte anthropisation du bassin parisien. On note néanmoins la présence d'**espèces "sensibles"** : Barbeau fluviatile, Hotu, Tanche, Vandoise, Brochet, Silure glane, et d'**espèces "protégées"⁵²** : Chabot, Bouvière. Les nouvelles espèces recensées ces dernières années sont l'Épinochette (2009), l'Idé mélanote, la Carpe argentée (2007) et le Pseudorasbora (2004) ; les trois dernières ne faisant toutefois pas partie du fonds originel de la Seine.

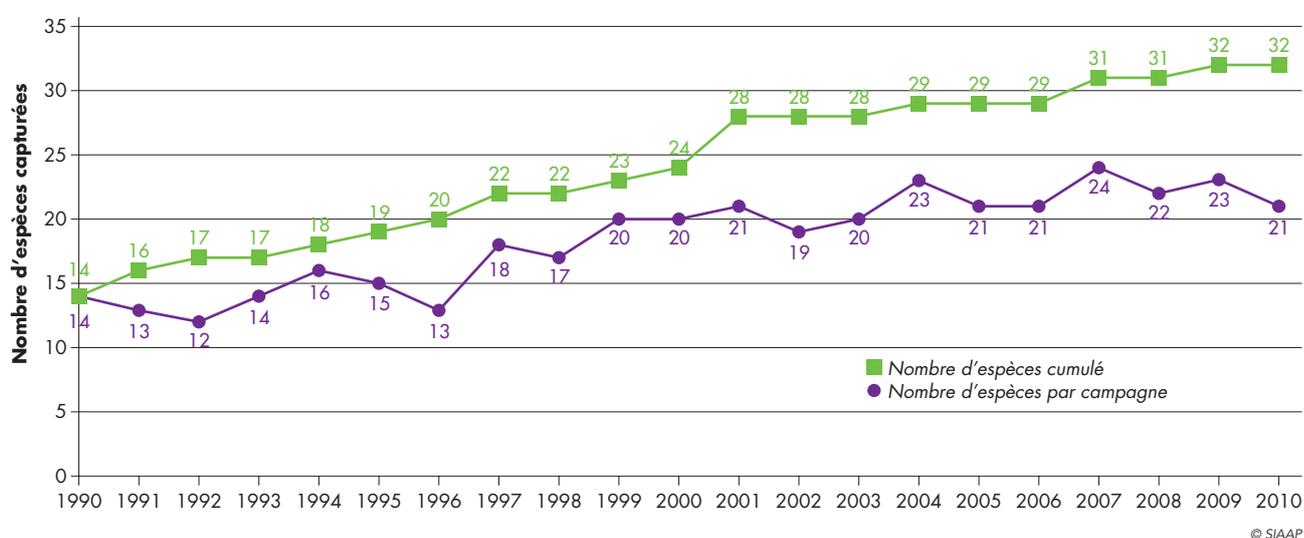


Figure 40 : Les espèces piscicoles recensées

L'**Anguille** est la seule espèce de poissons "grands migrateurs" identifiée par nos campagnes de pêche dans l'agglomération parisienne. En 2009, cette espèce a fait l'objet d'une modification de classement parmi les espèces menacées. D'espèce jusqu'alors "vulnérable", elle a été intégrée à la liste des espèces en "danger critique d'extinction" dans la liste rouge des espèces menacées en France.

D'autres migrateurs amphihalins ont fait leur réapparition en Seine et en Marne ces dernières années : un **Saumon** pêché en Seine aux portes de Paris à Maisons-Laffitte par un pêcheur amateur en 2009 et une **Alose** identifiée en 2010 en Marne, proche de la confluence avec la Seine (source ONEMA). Ces deux espèces ne sont pas répertoriées dans cet inventaire, malgré leur présence avérée en région parisienne, car elles n'ont pas été identifiées dans le cadre des pêches scientifiques menées par l'ONEMA.

52/ Espèce protégée au titre de l'Annexe 2 de la Directive Européenne Habitat-Faune-Flore 92/43/CEE.

Anguille européenne

Après sa naissance dans la Mer des Sargasses, l'Anguille rejoint les eaux douces continentales pour effectuer sa croissance. Elle n'aime pas la lumière et peuple les fonds de rivières très encombrés.

L'Anguille est un carnivore se caractérisant par la variété de son régime alimentaire. Elle consomme des poissons, des écrevisses, des gastéropodes, des vers et différents insectes aquatiques ou aériens. La petite taille de sa bouche est la seule limite à la variété de son alimentation.

Comme les autres migrateurs, l'Anguille souffre des nombreux aménagements qui jalonnent la Seine, mais aussi de la surpêche et de la pollution. Autrefois abondante et classée nuisible dans les cours d'eau à salmonidés, elle est désormais classée selon l'UICN en danger critique d'extinction.



Figure 41 : Anguille européenne (*Anguilla anguilla*) ►

© Biosphoto / Reinhard Dirscherl

• L'Indice poisson rivière (IPR)

Les poissons sont de bons intégrateurs des nombreux paramètres physico-chimiques des rivières. Les populations piscicoles reflètent, par leur abondance et leur diversité, l'état du cours d'eau considéré. La mise en œuvre de l'IPR consiste globalement à mesurer l'écart entre la composition du peuplement sur une station donnée, observée à partir d'un échantillonnage par pêche électrique, et la composition attendue en situation de référence, c'est-à-dire dans des conditions très peu ou pas modifiées par l'Homme. Sept variables sont considérées et permettent d'appréhender différents types de pression exercés sur le milieu (figure 42). La valeur de l'IPR correspond à la somme des scores obtenus par les sept variables ; elle est de 0 lorsque le peuplement évalué est conforme au peuplement attendu et dépasse 36 quand le milieu atteint un stade de dégradation ultime.

Catégorie	Variable	Réponse aux pressions humaines	Caractérisation de la pression
Richesse spécifique	1. Nombre total d'espèces	↗ ou ↘	Altération de la diversité du milieu
Qualité et diversité de l'habitat	2. Nombre d'espèces rhéophiles	↘	Altération de l'habitat lotique (zone de courant fort)
	3. Nombre d'espèces lithophiles	↘	Altération des zones de reproduction (annexes hydrauliques, gravières...)
Sensibilité aux pollutions	4. Densité d'individus tolérants	↗	Altération de la qualité globale de l'habitat et de l'eau
Structure trophique	5. Densité d'individus invertivores (se nourrissant d'invertébrés)	↘	Altération des ressources alimentaires disponibles (notamment du peuplement de macroinvertébrés benthiques)
	6. Densité d'individus omnivores	↗	Enrichissement organique du milieu
Abondance	7. Densité totale d'individus	↗ ou ↘	Altération de la productivité du milieu

© SIAAP

Figure 42 : Variables prises en compte dans le calcul de l'IPR

L'Indice poisson rivière est calculé à partir des données recueillies par les pêches scientifiques (sur quatre stations pour la période 1990-1998, onze 1999-2003 et douze 2004-2010). La moyenne des stations mesurant l'IPR donne un état moyen la plupart des années, mais frôle la classe bon état en 2010. Malgré des fluctuations interannuelles, nous constatons une amélioration de l'état global des peuplements piscicoles (figure 43).

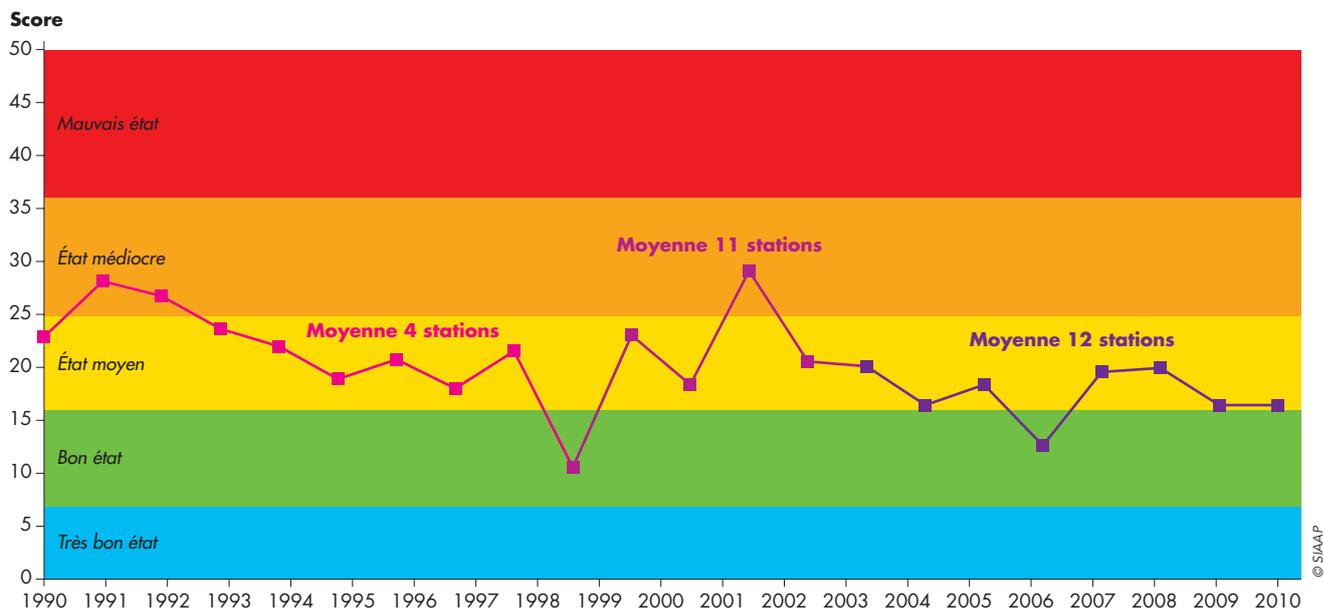


Figure 43 : Évolution du score IPR moyen de la Seine et de la Marne entre 1990 et 2010

Contre toute attente, les stations situées en amont de l'agglomération parisienne présentent les plus mauvais scores IPR (figure 44). La station la plus dégradée est située sur la Seine à Villeneuve-Saint-Georges (94) ; c'est la seule présentant un état médiocre. À l'inverse, la meilleure note correspond à une station située à l'aval de Paris qui atteint même le score très bon état : Le Pecq (78). On peut en conclure que la population piscicole de la Seine est déjà dégradée avant que le fleuve ne pénètre dans l'agglomération parisienne. On remarque également que la Marne, bien qu'offrant des habitats plus diversifiés, héberge une population piscicole globalement plus dégradée que la Seine.

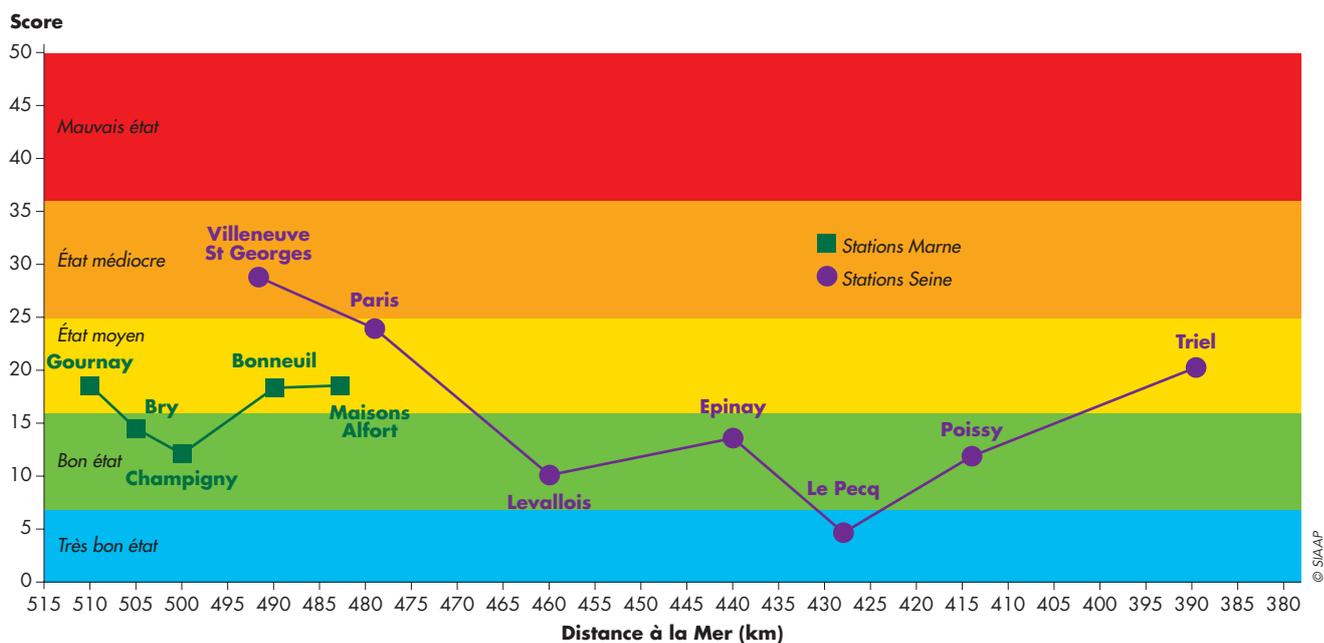


Figure 44 : IPR de la Seine et de la Marne en agglomération parisienne (2010)

- **Le suivi de la contamination des chairs des poissons**

Seules les chairs, susceptibles d'être consommées (filets), sont analysées par une entreprise et non le poisson entier. Deux espèces de poissons sont étudiées depuis 2000 : le Gardon et l'Anguille. Les recherches portent sur différents paramètres :

- **Pesticides** (molécules de synthèse toxiques, plus ou moins bioaccumulables et persistantes dans les milieux aquatiques)
- **Métaux lourds : mercure** (toxique et bioaccumulable) et **zinc** (nutriment non bioaccumulable)
- **PCB indicateurs** (micropolluants de synthèse)
- **Dioxines, furannes et PCB Dioxin-Like**
- **Phtalates** (DEHP : toxique et bioaccumulable)
- **Biomarqueur EROD** (méthode de mesure de l'activité enzymatique)
- **Hexachlorobutadiène** (indicateur du bon état chimique).

Toutes les **réglementations sanitaires** en vigueur relatives à leur consommation sont respectées en 2010, hormis pour les PCB Dioxin-Like, qui dépassent très largement les seuils fixés pour la consommation de chair d'Anguilles. Pour les PCB indicateurs, les recommandations sanitaires de l'AFSSA sont systématiquement dépassées. Les PCB sont pourtant interdits d'usage en France depuis 1985, mais la contamination des sédiments semble encore pérenne.

Les **normes de qualité environnementale**⁵³ ne sont par contre pas respectées du fait du déclassement du bon état chimique par le paramètre "mercure et ses composés", notamment dans les chairs d'Anguilles et de Chevesnes, même si les taux sont plus faibles qu'en 2009 et qu'ils restent bien en-deçà des seuils sanitaires.

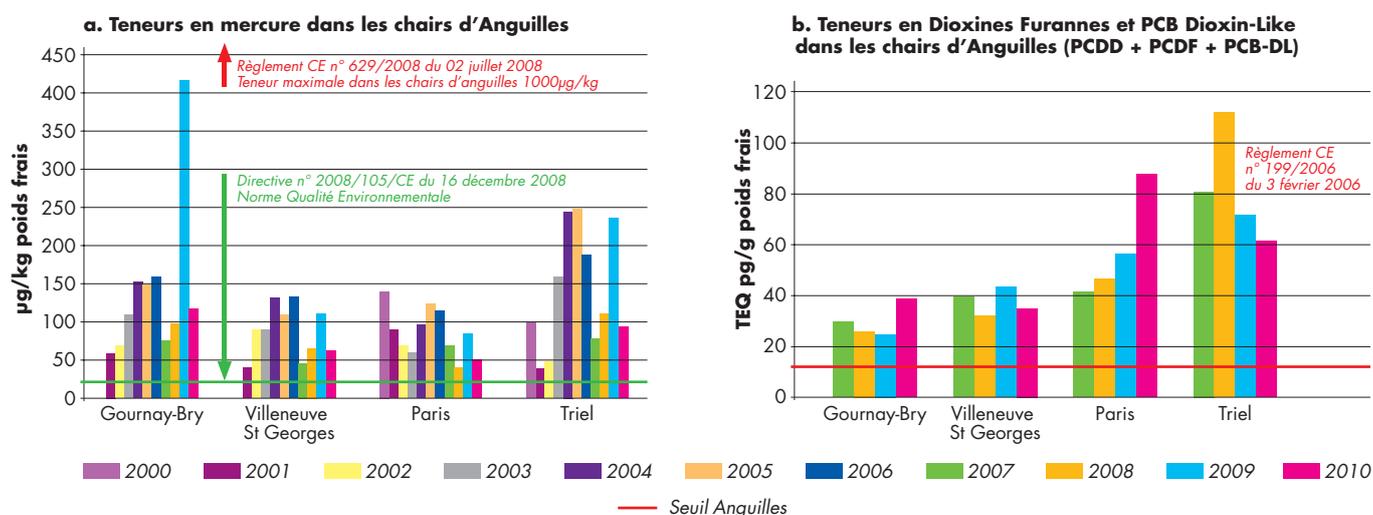


Figure 45 : Éléments toxiques dans les Anguilles en région parisienne

53/ La directive de 2008 établissant des normes de qualité environnementale dans le domaine de l'eau complète la directive cadre sur l'eau de 2000 concernant la présence dans les eaux de surface de substances identifiées comme prioritaires en raison du risque significatif qu'elles présentent pour l'environnement aquatique. Elle fixe des limites de concentration à atteindre d'ici 2015 pour 33 substances prioritaires (pesticides, métaux lourds), dont 20 sont considérées comme dangereuses, et impose d'avoir mis un terme aux rejets d'ici 2025.

- **Le suivi des poissons au barrage de Poses**

Au niveau du barrage hydroélectrique de Poses (Eure), le dernier barrage sur la Seine avant son embouchure située à 160 kilomètres, une échelle à poissons a été mise en place pour permettre la remontée des poissons migrateurs. Une chambre d'observation et un dispositif de vidéo-comptage ont été installés au niveau de cet équipement. Ils permettent un comptage des poissons transitant par la chambre (espèce, nombre, taille, montaison ou avalaison) et la visualisation par le public des espèces présentes dans la Seine. Le SIAAP a souhaité s'associer à cette démarche scientifique et pédagogique et participe au financement de ce programme du Syndicat Mixte de la Base de Plein Air et de Loisirs de Léry-Poses.



© SIAAP

Figure 46 : Chambre d'observation de Poses

C. ACTIONS DE PRÉSERVATION DU SIAAP

1/ LES BARRAGES FLOTTANTS

Afin de piéger les débris qui flottent sur la Seine, **26 barrages flottants** ont été installés par le SIAAP dans l'agglomération parisienne : quatre sur la Marne, sept sur la Seine en amont de la capitale, trois sous les ponts de Paris et douze en aval de Paris (figure 47). Leur localisation est stratégique. En certains points du fleuve, les déchets s'accumulent naturellement et stagnent. Seuls une crue ou de violents orages parviennent à les disperser. Pour piéger le maximum de débris, le SIAAP a recensé une vingtaine de zones d'accumulation et installé les barrages en amont de ces sites critiques.

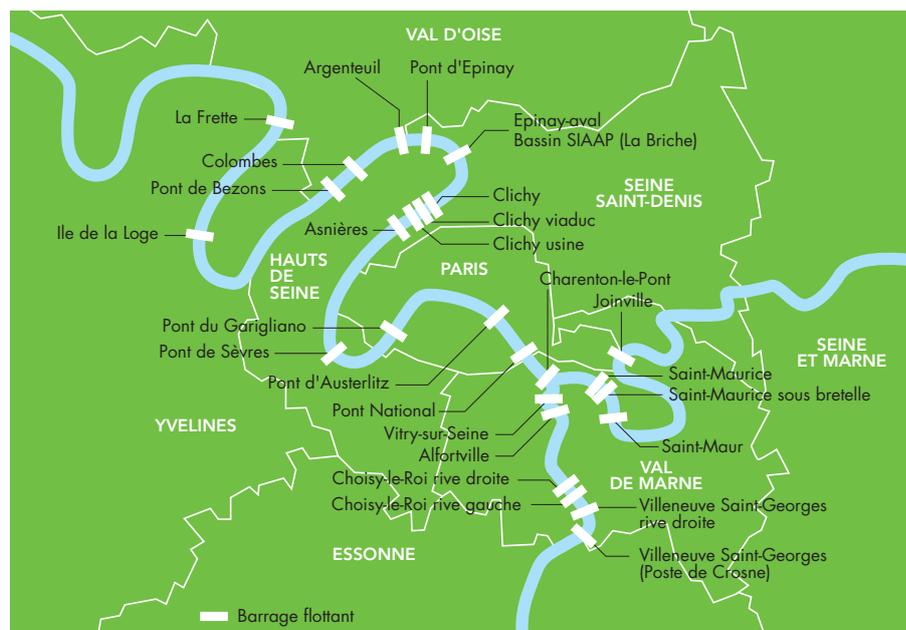


Figure 47 : Localisation des barrages flottants sur la Seine et la Marne

Les barrages sont constitués de deux grilles superposées qui captent les déchets : l'une visible, l'autre immergée. L'ensemble est solidement amarré à des pieux plantés dans le lit du fleuve.

Chaque barrage est vidé une fois par semaine par un **bateau nettoyeur**, équipé à l'avant d'un tapis roulant qui s'engage dans la porte du barrage et hisse les déchets à bord. Broyés à même le bateau, les déchets sont ensuite déposés dans des bennes à terre, puis chargés sur des camions à destination des Centres d'enfouissement technique (CET de catégorie 2). Deux bateaux se répartissent le ramassage des déchets : le Port Marly 2 gère la collecte de l'amont du fleuve jusqu'au barrage d'Austerlitz et le Port Marly 1 se charge du secteur entre le barrage du Pont du Garigliano jusqu'au barrage de la Frette-sur-Seine.

En 2010, **1 600 tonnes de déchets** ont été collectées. Les débris se composent à 70 % de déchets verts : algues, végétaux, feuilles mortes et branches. Les 30 % restants sont des déchets urbains les plus divers dus aux dépôts sauvages sur les berges, aux rejets provenant de chantiers ou de bateaux, ou encore à la négligence des promeneurs. Ces déchets flottants constituent une pollution visuelle, mais peuvent aussi représenter un danger pour la navigation.



Figure 48 : Barrage flottant (pont de Sèvres, 92).

2/ LES ÎLOTS DE SURVIE

Dans les zones urbaines, les sols sont imperméabilisés sur de grandes surfaces. En conséquence, un épisode pluvieux n'est que très partiellement suivi de la pénétration des eaux de pluie dans le sol. L'eau ruisselle, accumulant de la matière organique, et se déverse dans le réseau d'égout. Lors de précipitations extrêmement fortes, les capacités des réseaux de collecte d'eaux usées et des stations d'épuration peuvent être dépassées, et une partie d'eau non traitée est alors déversée dans les cours d'eau, accompagnée d'un afflux de matières organiques et d'une baisse de la concentration en dioxygène dissous⁵⁴.

Cette situation exceptionnelle se produit principalement **en été**, lorsque la température est élevée et que le taux de dioxygène dissous est déjà bas. Les conséquences de ce type d'événements sont très importantes. Les années 1990 ont vu se succéder des épisodes orageux occasionnant la mort simultanée de plusieurs centaines de poissons. Afin de pallier ces variations de la teneur en dioxygène dans l'eau préjudiciables à la faune aquatique, le SIAAP a mis en place des **équipements d'oxygénation de la Seine** : les îlots de survie.

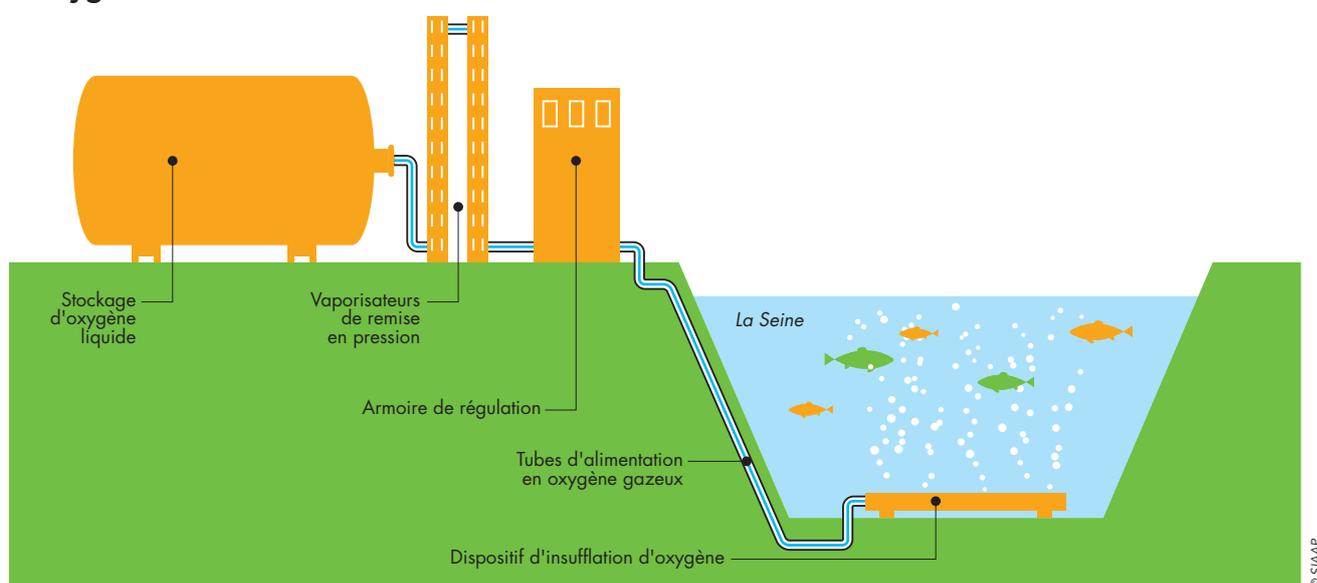
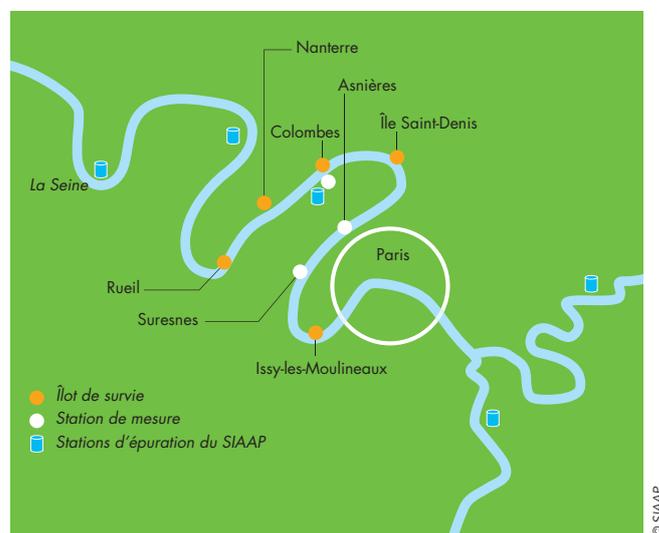


Figure 49 : Schéma d'un îlot de survie

L'îlot de survie consiste à insuffler durant un temps limité du dioxygène en un point du fleuve, permettant une hausse du taux de dioxygène dissous. Avec le courant, la zone oxygénée s'étend sur plusieurs kilomètres en aval et devient apte à assurer la survie des poissons venant s'y réfugier. Depuis 1993, **cinq îlots de survie** ont été installés dans la Seine à l'aval de Paris et ont empêché de nouvelles mortalités massives de poissons (figures 49 et 50). Sur la figure 51, on peut observer une forte baisse du taux de dioxygène dissous en Seine survenue le 8 juin 1997 après un orage. Les îlots de survie ont été mis en service le même jour, entraînant la remontée rapide de la teneur en dioxygène, à un minimum à 2 mg/l permettant la survie des poissons. La courbe rouge est une simulation sans le recours aux îlots. Dans cette situation, le taux serait tombé à 0 mg/l et aurait entraîné la mort des poissons.

Figure 50 : Localisation des îlots de survie du SIAAP



54/ Apports de matière organique et respiration aquatique : p35-37.

Pour maîtriser le risque en temps réel, le taux de dioxygène dissous est mesuré en permanence par le biais du réseau ODES (p 52). Dès que le seuil critique est atteint, une alerte informatique est transmise automatiquement au poste de permanence qui déclenche la mise en service des îlots de survie. Ces dernières années, l'augmentation des capacités de stockage et de traitement des eaux pluviales ont permis de fortement limiter les conséquences des orages estivaux et le recours aux îlots de survie est désormais très rare.

Pour aller plus loin :
SCIENCES ET TECHNIQUES

> La gestion des eaux de pluie

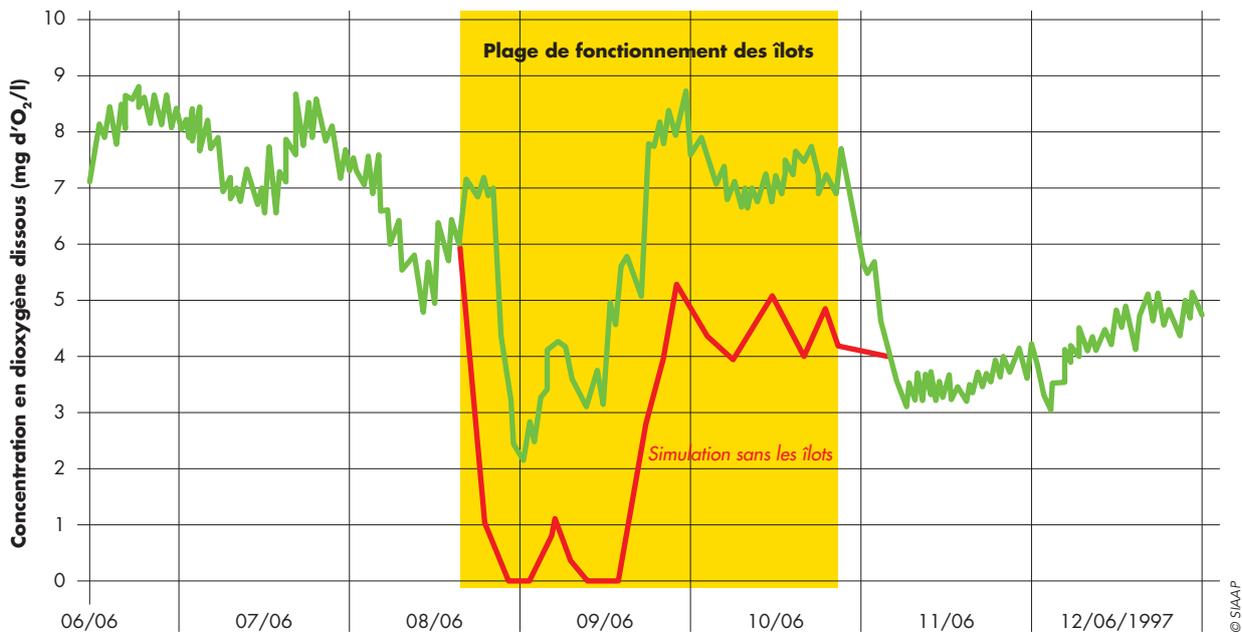
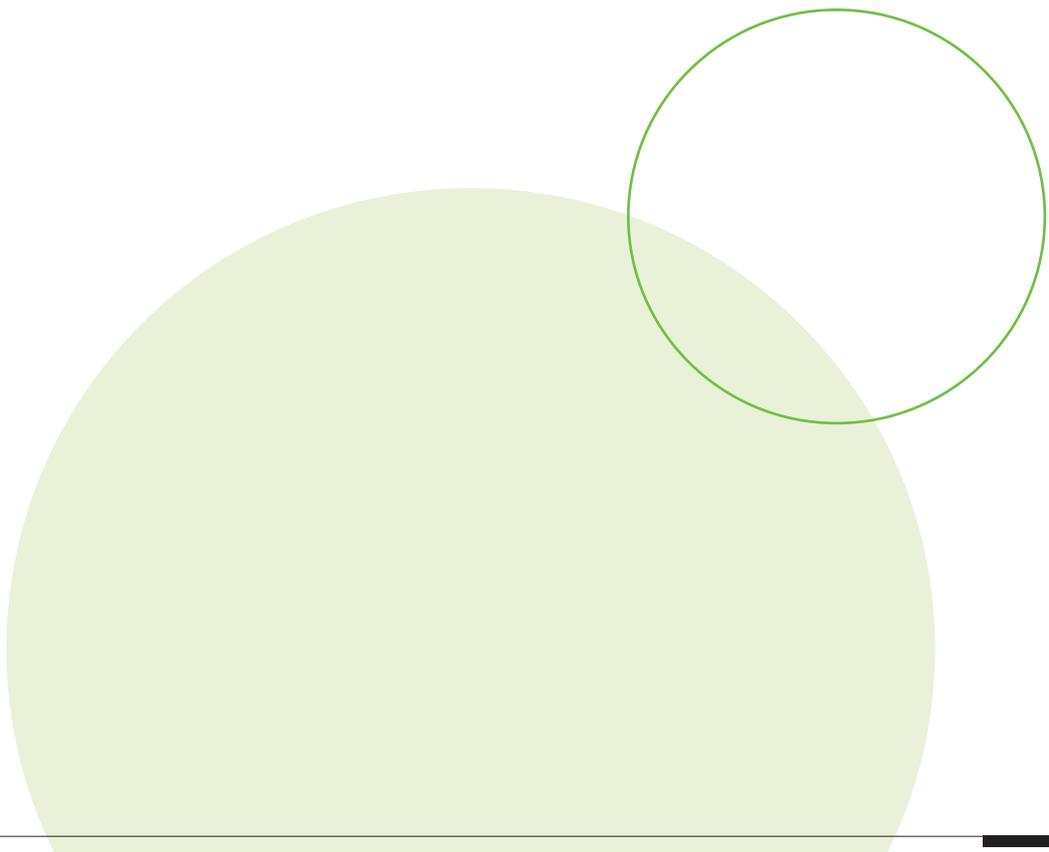


Figure 51 : Oxygénation de la Seine par un îlot de survie



3/ L'AMÉNAGEMENT DE ZONES DE FRAYÈRES

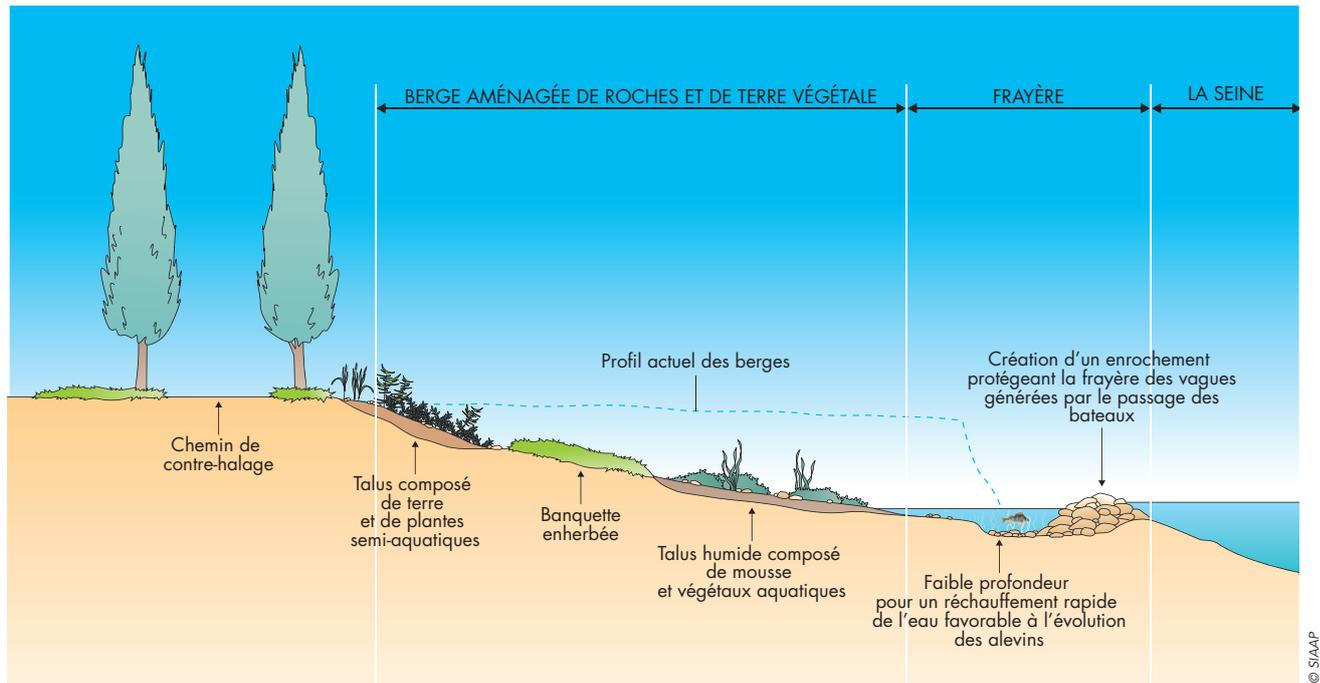


Figure 52 : Schéma d'aménagement d'une zone de frayère

L'urbanisation grandissante des berges des cours d'eau a pour conséquence la dégradation des zones naturelles de reproduction des poissons. Malmenées par l'érosion naturelle, le batillage (vagues créées par le passage des bateaux) et la tempête de 1999, les berges riveraines de l'usine Seine aval étaient dégradées. Le SIAAP a alors choisi d'intervenir pour les réhabiliter. Les berges ont été nettoyées, stabilisées et revégétalisées en 2006. Le chemin de contre-halage a lui aussi été défriché et reboisé (Peupliers, Bouleaux, Érables et Merisiers).

Enfin, trois zones de frayères ont été implantées en bord de Seine pour favoriser la vie piscicole. Le travail a consisté à reconstituer en bord de berge une pente douce, puis une zone de faible profondeur d'eau agrémentée de végétation semi-aquatique pour lutter contre l'érosion, et enfin des enrochements propices à la ponte et au développement des alevins.

Le SIAAP a également implanté des frayères le long des berges de la Seine à Paris, sous le pont d'Iéna, et à Colombes (92), près de son usine Seine centre.



Figure 53 : Frayères aménagées à Seine aval

4/ L'INVENTAIRE FAUNE-FLORE

Les cinq usines d'épuration du SIAAP comptent 300 hectares d'espaces verts constituant des lieux d'accueil pour des espèces animales et végétales indispensables au maintien de la biodiversité en milieu urbain. Afin d'avoir une vision précise de la biodiversité abritée sur ses sites, le SIAAP a réalisé entre 2008 et 2010 (trois fois par an : printemps-été-automne) un inventaire de la faune et de la flore sur les terrains de quatre de ses usines d'épuration : Seine aval (78), Seine centre (92), Marne aval (93) et Seine amont (94). L'inventaire n'a pas été réalisé à Seine Grésillons (78) car l'usine a été mise en service en 2008 et des travaux sont encore en cours pour son extension en 2012. Les inventaires réalisés avaient pour mission d'établir un diagnostic des espèces existantes, première étape pour la mise en place d'un plan de gestion. Ils sont publiés sur le site internet du SIAAP⁵⁵. Parmi les espèces faunistiques recensées à proximité immédiate des stations d'épuration du SIAAP, citons le Héron cendré, le Grand Cormoran, l'Écureuil roux ou encore le Lézard des murailles.

Héron cendré

Le Héron cendré fréquente les marais, étangs et cours d'eau peu profonds. Avec des branches, il construit un très grand nid sur un arbre. Il se nourrit essentiellement de poissons et de batraciens, mais aussi de petits mammifères, d'insectes, de crustacés et de reptiles. Il pêche les poissons à l'affût, parfaitement immobile ; son bec en forme de poignard transperce la victime. Espèce protégée, c'est le plus répandu des hérons européens en Île-de-France comme en France.



© Biosphoto / Jean-Éric Fabre

Figure 54 : Héron cendré (*Ardea cinerea*)

5/ LA GESTION DES ESPACES VERTS ET NATURELS

Parmi les sites du SIAAP, on recense plusieurs espaces naturels d'une grande valeur patrimoniale et parfois récréative. À Seine aval, le Jardin de Paris a été créé en 1895 et constitue un arboretum riche de 150 essences et espèces végétales. En 2007, à proximité de ce jardin, la réalisation d'une prairie autour d'une dominante de graminées et d'une vingtaine d'essences locales (Aulne, Charme, Frêne, Chêne rouvre, Saule blanc) a permis la protection et la mise en valeur d'une Znieff⁵⁶. Il s'agit du Parc Albert Marquet, du nom d'un peintre fauviste de la première moitié du XX^e siècle, qui vécut à La Frette-sur-Seine à la fin de sa vie (commune située en face de Seine aval). Ce parc constitue en outre un écran végétal pour une meilleure intégration paysagère d'un bâtiment récent de l'usine : l'unité de traitement de l'azote inaugurée en 2007.



© SIAAP

Figure 55 : Jardin de Paris et Parc Albert Marquet (Seine aval, octobre 2011)

Pour aller plus loin :
HISTOIRE

> Les peintres de la Seine

55/ Inventaire faune-flore du SIAAP : http://www.siaap.fr/fileadmin/user_upload/Nos_equipements/Menu_Usines.swf
56/ Présentation des ZNIEFF en partie III. A. 2.

Une gestion différenciée des espaces verts est mise en œuvre. Ainsi, le Jardin de Paris est tondu une fois par mois car c'est un lieu d'accueil du public, tandis que son voisin, le parc Albert Marquet, n'est fauché qu'une à deux fois par an afin de respecter les rythmes biologiques de la faune et de la flore. Dans le premier cas, la fonction récréative prime, dans le second, la fonction écologique a été privilégiée.

Toujours à Seine aval, d'anciens lits de séchage des boues d'épuration ont été transformés en champs de lavande ; ils accueillent le public une fois par an en juin dans le cadre de la Fête de la lavande du SIAAP.

Dans le cadre de sa politique de développement durable, le SIAAP a lancé en 2009 son **plan de gestion pour le maintien et le développement de la biodiversité terrestre présente sur ses sites**. Ce plan de gestion différenciée des espaces verts et naturels a été établi après l'analyse des pratiques actuelles et en intégrant les contraintes liées à l'activité industrielle. C'est un programme sur cinq ans. L'une des premières actions du plan a été **l'arrêt de l'utilisation de produits phytosanitaires** pour l'entretien des espaces verts ; suivi de l'achat d'une désherbeuse thermique à mousse chaude. **L'arrosage** a été fortement réduit et les **espèces locales** sont privilégiées, car moins gourmandes en eau. Une autre action phare est la **lutte contre les espèces invasives** pour préserver la flore autochtone. Un guide pratique a été conçu pour favoriser une gestion raisonnée de ces espaces, intégrant notamment la liste des végétaux pouvant être utilisés.

D'autres actions à plus long terme privilégieront des aménagements favorables au maintien et au développement de cette biodiversité. Parmi ces aménagements, des **prairies fleuries** seront implantées à Seine aval, Seine amont et Marne aval, ainsi qu'une mare et sa **zone humide** associée à Seine centre. À Seine Grésillons, une partie du site étant classée en Znieff, la création d'une zone humide de cinq hectares d'intérêt ornithologique a pour objectif de maintenir une végétation propice à une riche population aviaire. À proximité, 2,5 km de berges ont déjà été réhabilités, comprenant le nettoyage, la lutte contre les végétaux invasifs et la mise en valeur de l'existant.

6/ LA RÉSERVE NATURELLE DU BASSIN DE LA BIÈVRE

Petite rivière d'une trentaine de kilomètres reliant Guyancourt (78) à Paris, la Bièvre reçoit les eaux pluviales d'un vaste bassin versant de 200 km². Son débit peut être multiplié par cent lors d'orages importants. Pour contrôler ces variations de niveau et éviter les inondations, le SIAAP a conçu dans les années 1970 sur le territoire des villes d'Antony (92) et de Verrières-le-Buisson (91) un bassin de retenue des eaux de pluie. Cet ouvrage technique s'appelle le bassin de la Bièvre.

L'eau y stagne en permanence, des boisements humides et des roselières se sont développés sur les berges, rapidement adoptés par une avifaune rare en région parisienne. Le lieu abrite 144 espèces d'oiseaux : Butors étoilés, Bécassines sourdes, Martins-Pêcheurs ou Sarcelles d'été vivent dans ce site de six hectares, à deux pas des immeubles. Dès 1992, un observatoire ornithologique est installé par la Ville d'Antony, et depuis juillet 2009, ce site est classé en **réserve naturelle régionale**, la seule du département des Hauts-de-Seine. Le SIAAP est propriétaire du bassin et co-gestionnaire avec le Centre ornithologique Île-de-France (Corif). Un plan de gestion de la réserve doit être finalisé d'ici 2013⁵⁷.

7/ LA RESTAURATION DE COURS D'EAU "ÉGOUTS"

• La Bièvre

La Bièvre est une rivière de 33 kilomètres de long située au sud de Paris et prenant sa source près de Guyancourt (Yvelines). La Bièvre était à l'époque le seul affluent de la Seine à Paris. Dès le Moyen-Âge, cette caractéristique a entraîné le développement d'une vallée artisanale et industrielle très exploitée : moulins, tanneries, teintureries, blanchisseries, féculerie, etc. Il en a résulté de graves pollutions et des dysfonctionnements dans la gestion du cours d'eau.

Progressivement, la rivière et ses bras morts sont convertis en véritables égouts. À partir de la fin du XIX^e siècle, des tronçons de la Bièvre sont progressivement canalisés et couverts pour des raisons sanitaires et de lutte contre les inondations. En certains endroits, elle est même remplacée par un conduit en ciment de 1,60 mètre de diamètre. Depuis 1958, la Bièvre est totalement absente du paysage sur 11 km en aval d'Antony (92). Son statut juridique a été modifié en conséquence pour la partie couverte, ce n'est plus une rivière mais un ouvrage public d'assainissement du SIAAP : un collecteur d'eaux pluviales et usées, qui les achemine vers la station d'épuration Seine aval.

Depuis les années 1990, un projet de renaissance de la Bièvre est porté par de nombreux acteurs. L'opération de réouverture vise à améliorer la qualité des eaux du cours d'eau, reconquérir des espaces naturels pour les loisirs, la détente et la qualité de vie des riverains, préserver la biodiversité, maîtriser les eaux de ruissellement et lutter contre les inondations. Au préalable, la qualité de l'eau doit être améliorée pour des raisons sanitaires et olfactives. Pour cela, le SIAAP a effectué des travaux en 2008 pour installer une conduite de 2 km de long afin de recueillir les eaux usées auparavant déversées dans la Bièvre. L'opération de réouverture commencera par quatre tronçons : Arcueil/Gentilly (600 m), L'Haÿ-les-Roses (600 m), Gentilly (150 m) et Cachan (150 m), incluant l'aménagement et la renaturation des berges. Elle devrait être réalisée d'ici 2015.

• La Morée

La Morée est une petite rivière urbaine située en Seine-Saint-Denis. Longue de 12 km entre Vaujours (93) et Bonneuil-en-France (95), elle reçoit les eaux de deux petits cours d'eau, le Sausset et le Croult, ainsi que les eaux de la station d'épuration de Bonneuil-en-France, et se jette dans la Vieille Mer, elle-même affluent de la Seine à Saint-Denis. Elle fut canalisée et enterrée partiellement au XIX^e siècle. Elle sert depuis de collecteur d'eau pluviale et, lors des forts orages, de déversoir d'eaux usées. Le tracé actuel de la rivière passe sous le site de la sixième usine d'épuration du SIAAP au Blanc-Mesnil (93), mise en service en 2013. Le SIAAP va détourner une partie du lit de la Morée en créant une boucle d'apparence naturelle dans la zone Sud du site. La rivière sera ainsi à ciel ouvert et ses berges seront aménagées. Enfin, la Morée recevra l'eau épurée de l'usine d'une très bonne qualité, permettant le retour de la faune et de la flore aquatiques.



© SIAAP

Pour aller plus loin :
SCIENCES ET TECHNIQUES

> L'usine Seine Morée

Pour aller plus loin :
GÉOGRAPHIE

> L'usine Seine Morée

Figure 56 : La Morée (Le Blanc-Mesnil, 93)

Glossaire

ANTHROPISATION

Transformation d'espaces, de paysages ou de milieux naturels sous l'action de l'Homme. Terme pas encore présent dans les dictionnaires, mais utilisé en géographie et en écologie.

ASSAINISSEMENT

Ensemble des techniques de collecte, transport et traitement des eaux usées avant leur rejet dans le milieu naturel.

AUTOÉPURATION

Ensemble des processus naturels permettant à un milieu pollué de retrouver son état originel. L'action des micro-organismes est le principal moteur.

BIOACCUMULATION

Absorption de la fraction biodisponible d'un polluant par un être vivant.

BIOAMPLIFICATION

Forme de bioaccumulation résultant de l'ingestion de proies contaminées, se traduisant par l'augmentation du taux d'un polluant le long d'une chaîne trophique.

BIOCÉNOSE

Ensemble des populations animales et végétales vivant dans un espace défini appelé biotope.

BIOCONCENTRATION

Forme de bioaccumulation résultant de la présence de polluants dans l'environnement, se traduisant par une concentration de polluants dans les êtres vivants supérieure à celle présente dans le milieu.

BIODIVERSITÉ

Diversité du monde vivant, déclinée sous trois formes : diversité écologique (des milieux), diversité spécifique (des espèces) et diversité génétique (au sein d'une même espèce).

BIOINDICATEUR

Espèce ou population utilisée pour évaluer la qualité écologique d'un milieu et pour avertir de modifications de l'environnement résultant principalement de l'activité humaine.

BIOMARQUEUR

Changement biochimique, cellulaire, physiologique ou comportemental qui peut être mesuré chez un être vivant, mettant en évidence son exposition à des polluants et permettant une évaluation de l'état écologique d'un milieu. On distingue les biomarqueurs de défense et les biomarqueurs de dommage. Certaines espèces sont privilégiées pour étudier leurs biomarqueurs : les espèces sentinelles.

BIOTOPE

Environnement physico-chimique constituant un milieu de vie homogène et défini accueillant une biocénose.

BRYOPHYTE

Végétal terrestre caractérisé par l'absence de système vasculaire, ne possédant donc pas de racines, mais des rhizoïdes permettant l'adhésion au substrat. Les bryophytes vivent généralement dans des lieux humides et ombragés car l'eau est indispensable au moment de leur fécondation. Les bryophytes regroupent les mousses et les sphaignes.

CANALISATION

Transformation d'un cours d'eau en adoptant les caractéristiques d'un canal : bétonnage des berges et parfois du fond, et réalisation de barrages munis d'écluses, permettant de s'affranchir d'une partie des caractéristiques naturelles du cours d'eau (pente du terrain, variations de débit) afin de faciliter la navigation.

CHAÎNE TROPHIQUE

Succession d'êtres vivants liés entre eux par des besoins nutritifs, dans laquelle chacun mange celui qui le précède. On distingue trois catégories d'organismes : les producteurs, les consommateurs et les décomposeurs. On appelle réseau trophique un ensemble de chaînes alimentaires d'un écosystème, qui partagent certains maillons.

CHENALISATION

Aménagement d'un cours d'eau naturel visant à accélérer l'écoulement et faciliter la navigation, comprenant l'augmentation de la capacité du lit et de la pente, le recoupement des méandres et l'artificialisation des berges.

CLASSIFICATION

Méthode utilisée pour classer les êtres vivants, comprenant la systématique et la taxinomie. La classification classique, dérivée de Linné, s'est enrichie et complexifiée progressivement au cours des siècles mais ne doit plus être utilisée aujourd'hui ; la classification phylogénétique date du milieu du XIX^e siècle et est basée sur des données moléculaires.

ÉCOLOGIE

Étude des organismes vivants et des relations qu'ils entretiennent entre eux et avec leur environnement.

ÉCOSYSTÈME

Ensemble composé d'un milieu (biotope) et de toutes les espèces vivantes qui s'y trouvent (biocénose), ainsi que de toutes les relations existant entre le milieu et les espèces, mais aussi entre les espèces entre elles.

ÉCOTONE

Zone de transition écologique entre deux écosystèmes.

ECTOTHERME

Se dit d'un animal dont la chaleur corporelle provient de l'extérieur.

EUCARYOTE

Organisme (unicellulaire ou pluricellulaire) possédant dans sa (ou ses) cellule(s) un noyau isolé du cytoplasme par une membrane et contenant de l'ADN.

EUTROPHISATION

Enrichissement des eaux en éléments nutritifs (phosphates, nitrates) dans un milieu aquatique, entraînant des proliférations algales ou végétales, et affectant les usages de l'eau et la vie aquatique.

FRAI

Terme désignant à la fois le rapprochement sexuel sans accouplement chez les poissons à fécondation externe, l'époque à laquelle ce rapprochement a lieu, les œufs de poissons ou d'amphibiens, ou encore de très jeunes poissons⁵⁸.

FRAYÈRE

Lieu où les poissons fraient, devant réunir certaines caractéristiques variables selon les espèces (profondeur, température, nature du fond, végétaux).

HÉLOPHYTE

Plante semi-aquatique dont le système racinaire est la plupart du temps submergé et développé dans la vase ou dans une terre gorgée d'eau, mais dont les appareils reproducteur et végétatif (tiges, fleurs et feuilles) sont aériens.

HYDROPHYTE

Plante aquatique dont la vie est impossible en dehors de l'eau. L'existence de lacunes aérifères dans ses tissus la rend moins dense que le milieu environnant, ce qui lui permet de se maintenir entre deux eaux ou de flotter en surface. En fonction de leur fixation, on distingue les hydrophytes nageants et les hydrophytes radicans, qui se développent depuis le fond des plans d'eau et forment un tapis en surface pendant l'été.

HYDROSYSTÈME FLUVIAL

Système écologique complexe constitué par des biotopes et des biocénoses d'eau courante, d'eau stagnante, semi-aquatiques et terrestres, et dont le fonctionnement dépend directement du cours actif du fleuve. Il comprend un réseau hydrographique et un bassin versant.

INDICE BIOLOGIQUE

Méthode biologique standardisée d'estimation de la qualité de l'eau basée sur les espèces vivantes pour détecter toute altération physique ou chimique du milieu. Il existe plusieurs indices biologiques en fonction des peuplements observés : diatomées, végétaux supérieurs, macro-invertébrés, poissons. Les espèces utilisées sont des bioindicateurs. Le calcul des indices découle de l'observation de l'abondance des espèces dans un relevé, permettant l'obtention d'une note et son classement parmi cinq niveaux de qualité d'eau.

MICROPOLLUANT

Substance qui, en raison de sa toxicité, de sa persistance et de sa bioaccumulation, est de nature à altérer les fonctions métaboliques des êtres vivants. Un micropolluant est susceptible d'avoir un impact à des concentrations très faibles. On distingue les micropolluants métalliques (inorganiques) et les micropolluants chimiques (organiques).

MYCORHIZE

Association symbiotique d'un champignon inférieur avec les racines d'une plante.

NICHE ÉCOLOGIQUE

Place dans l'écosystème occupée par une espèce. Elle est caractérisée par les conditions du milieu et les interactions avec les espèces avoisinantes.

POÏKILOTHERME

Se dit d'un animal ne contrôlant pas sa température corporelle, qui varie avec celle du milieu.

PROCARYOTE

Organisme unicellulaire dont la cellule ne possède pas de noyau.

PROTISTE

Organisme appartenant à un groupe très hétérogène d'eucaryotes (possédant un noyau distinct) principalement unicellulaires.

PYRAMIDE ÉCOLOGIQUE

Schéma présentant les différents niveaux d'une chaîne trophique.

RIPISYLVE

Formation végétale linéaire s'étalant sur 20 à 30 mètres de large le long d'un cours d'eau et constituant une mosaïque complexe comprenant trois strates : herbacée, arbustive et arborée. La ripisylve est un écotone car elle est située à l'interface entre les écosystèmes terrestres et fluviaux.

ZONATION PISCICOLE

Distribution théorique des espèces de poissons selon le profil en long d'un cours d'eau en fonction de l'évolution de l'amont vers l'aval des caractéristiques physiques du milieu aquatique (vitesse du courant, oxygénation, température de l'eau). En l'absence de perturbation, cinq zones sont distinguées : à Truite, à Ombre, à Barbeau, à Brème, à Flet.

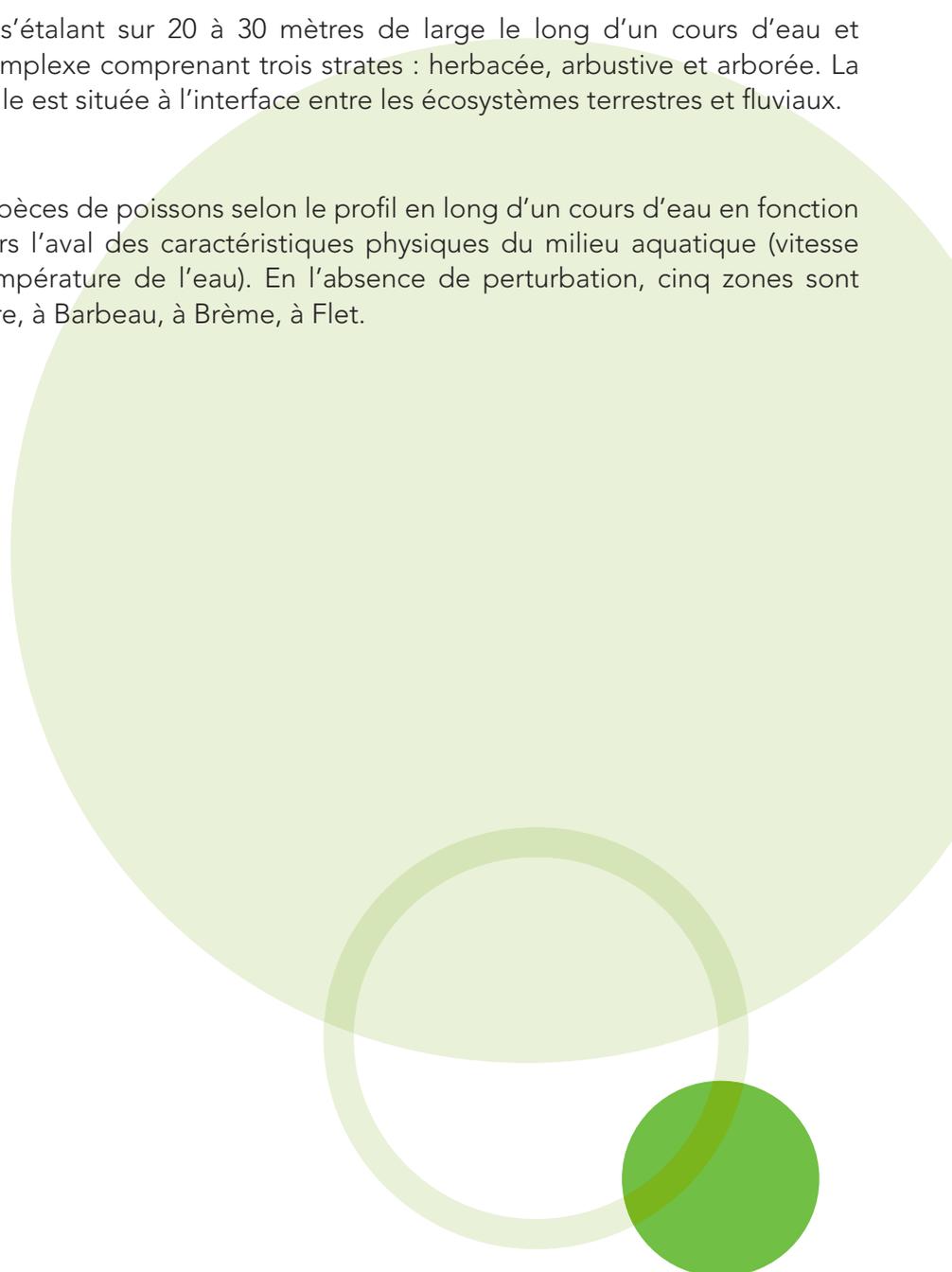


Table des illustrations

I. ÉCOSYSTÈMES AQUATIQUES DE LA RÉGION PARISIENNE	8
A. ÉLÉMENTS D'ÉCOLOGIE	
Figure 1 : Pyramide écologique	9
Figure 2 : Arbre phylogénétique universel	10
B. LA BIODIVERSITÉ DES EAUX DOUCES FRANCILIENNES	
Figure 3 : Renoncule flottante	14
Figure 4 : Nénuphar jaune	14
Figure 5 : Phragmite	15
Figure 6 : Ripisylve de la Seine	15
Figure 7 : Planaire blanche	17
Figure 8 : Limnée	17
Figure 9 : Daphnie	18
Figure 10 : Gammare	18
Figure 11 : Caridine	18
Figure 12 : Pontes de demoiselles	19
Figure 13 : Éphémère adulte	19
Figure 14 : Larve de perle	19
Figure 15 : Moustique commun	19
Figure 16 : Carpe commune	20
Figure 17 : Perche fluviatile sous des nénuphars	20
Figure 18 : Silure glane	20
Figure 19 : Martin-Pêcheur ayant capturé un Vairon	21
Figure 20 : Bergeronnette des ruisseaux	21
Figure 21 : Grenouille verte couverte de lentilles d'eau	21
Figure 22 : Couleuvre vipérine avalant un Gardon	22
Figure 23 : Ragondin	22
C. ORIGINE ET RÉPARTITION DES POISSONS D'EAU DOUCE	
Figure 24 : La zonation de Huet	24

A. MODIFICATIONS PHYSIQUES DES COURS D'EAU ET BIODIVERSITÉ

Figure 25 : Le réseau navigable et les barrages de la Seine	27
Figure 26 : Saumon atlantique	29
Figure 27 : Passe à poissons d'Andrézy	29
Figure 28 : Répartition écologique de quelques végétaux des rivières à cours rapide	30
Figure 29 : Brochet ayant capturé un Gardon	31

B. INTRODUCTIONS D'ESPÈCES ET CONCURRENCE

Figure 30 : Dreissène (moule zébrée)	34
Figure 31 : Écrevisse américaine	34

C. APPORTS DE MATIÈRE ORGANIQUE ET RESPIRATION AQUATIQUE

Figure 32 : L'appareil respiratoire du poisson	37
---	----

D. AZOTE ET PHOSPHORE DANS LES COURS D'EAU ET EUTROPHISATION

E. MICROPOLLUANTS DANS L'ENVIRONNEMENT ET TOXICITÉ

III. LA PROTECTION DES MILIEUX AQUATIQUES

A. LES MOYENS DE PROTECTION

Figure 33 : Les espaces naturels protégés d'Île-de-France	47
--	----

B. SURVEILLANCE DES COURS D'EAU

Figure 34 : Stations d'étude et de mesure du SIAAP	50
Figure 35 : Teneur en dioxygène dissous en Seine en 2010	52
Figure 36 : Limites des classes de qualité des indices biologiques	53
Figure 37 : IGBA au niveau des usines du SIAAP (2010)	54
Figure 38 : IBD au niveau des usines du SIAAP (2010)	55
Figure 39 : Campagne de pêche électrique menée par l'ONEMA	56
Figure 40 : Espèces piscicoles recensées	57
Figure 41 : Anguille européenne	58
Figure 42 : Variables prises en compte dans le calcul de l'IPR	58
Figure 43 : Évolution du score IPR moyen de la Seine et de la Marne entre 1990 et 2010	59
Figure 44 : IPR de la Seine et de la Marne en agglomération parisienne (2010)	59
Figure 45 : Éléments toxiques dans les Anguilles en région parisienne	60
Figure 46 : Chambre d'observation de Poses	61

C. ACTIONS DE PRÉSERVATION DU SIAAP

Figure 47 : Localisation des barrages flottants sur la Seine et la Marne	62
Figure 48 : Barrage flottant	62

Figure 49 : Schéma d'un îlot de survie	63
Figure 50 : Localisation des îlots de survie du SIAAP	63
Figure 51 : Oxygénation de la Seine par un îlot de survie	64
Figure 52 : Schéma d'aménagement d'une zone de frayère	65
Figure 53 : Frayères aménagées à Seine aval	65
Figure 54 : Héron cendré	66
Figure 55 : Jardin de Paris et Parc Albert Marquet	66
Figure 56 : La Morée (Le Blanc-Mesnil, 93)	68

AUTEURS :

- **Clotilde Marcel, Guillaume Ghelmi, Francis Pastor.**

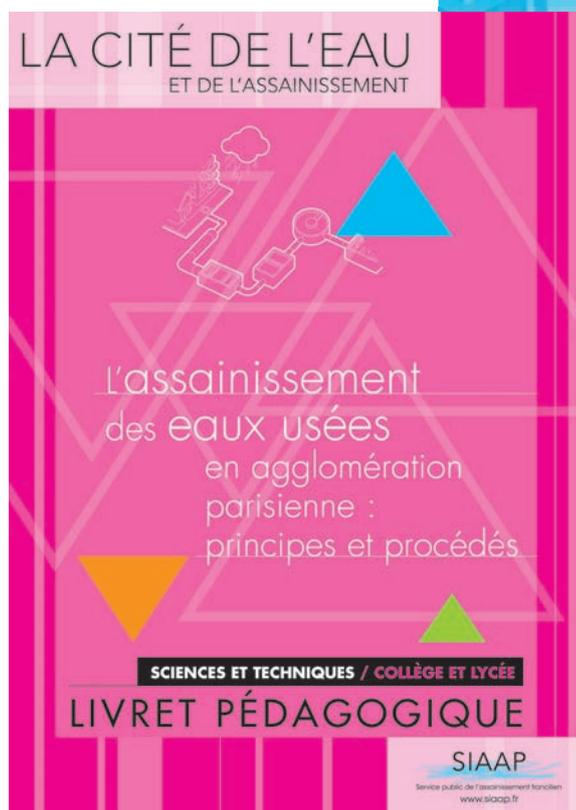
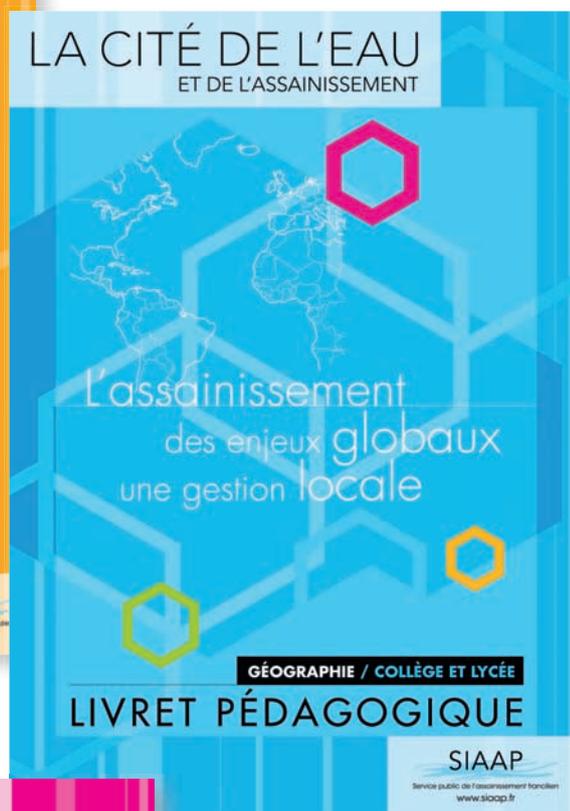
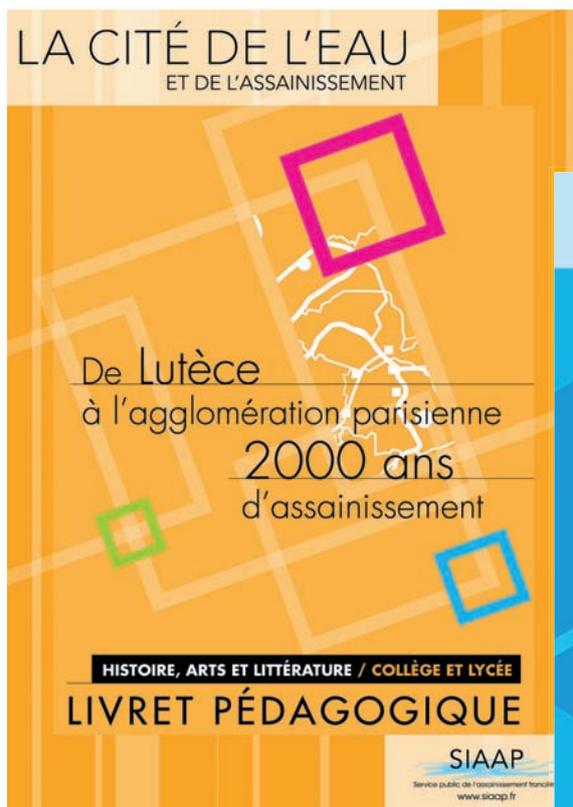
REMERCIEMENTS POUR SA COLLABORATION À LA RÉDACTION DE CE LIVRET PÉDAGOGIQUE :

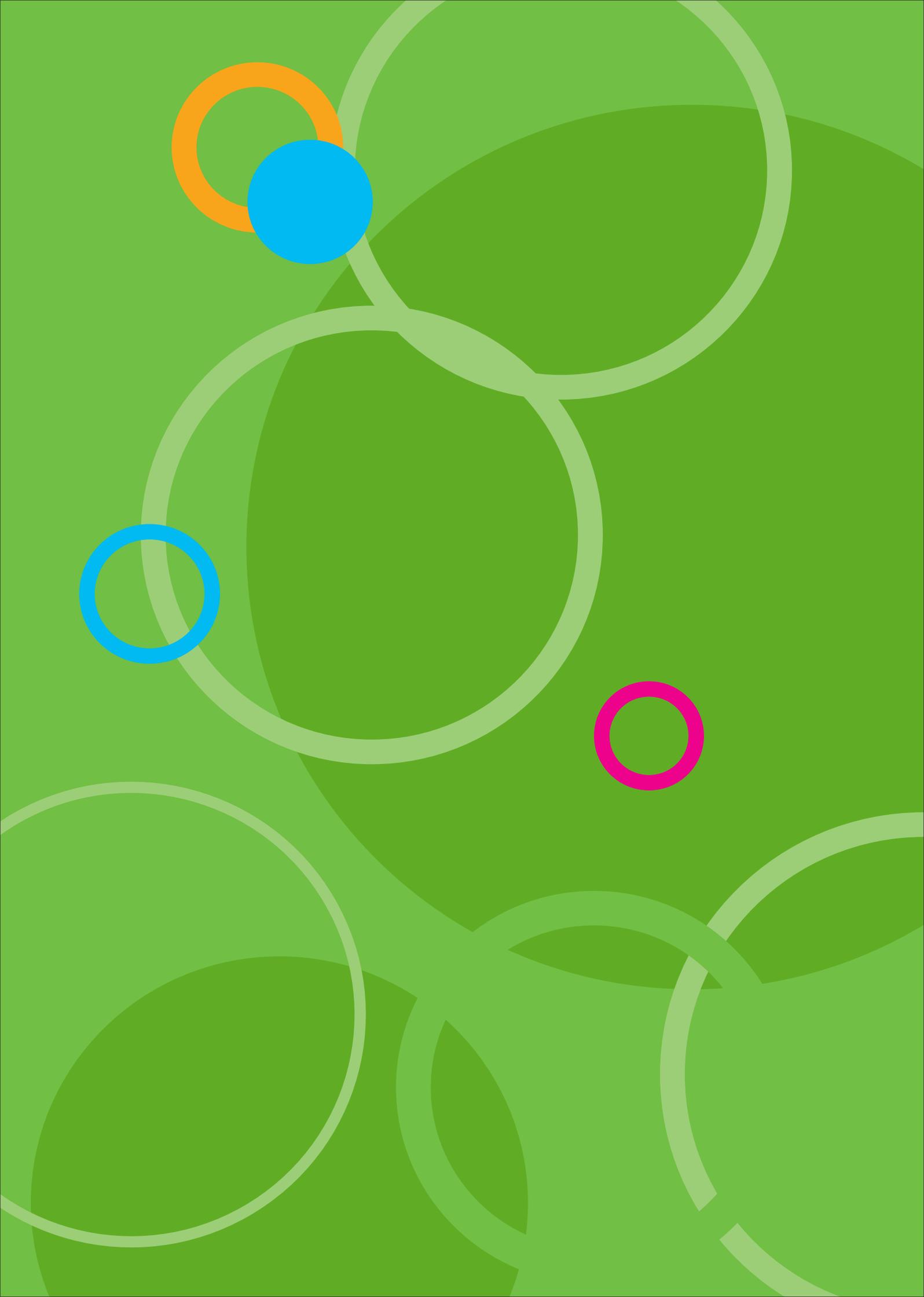
- **Gilles Décatoire** (responsable des aquariums du Naturoscope de Puteaux)

Crédits images :

Les crédits sont reportés au regard de chaque illustration.

RETROUVEZ LES AUTRES LIVRETS DANS LA MÊME COLLECTION





Service de médiation pédagogique
mediation-citedeleau@siaap.fr
Tél : 01 41 19 53 52

www.siaap.fr
www.ecole.siaap.fr - La Cité de l'Eau et de l'Assainissement

SIAAP

Service public de l'assainissement francilien
www.siaap.fr