



eau
seine
NORMANDIE

PROGRAMME PIREN-SEINE

Programme Interdisciplinaire de Recherche
sur l'Environnement de la Seine



Le peuplement de poissons du bassin de la Seine

Comprendre son évolution
sous l'impact des
changements générés
par l'homme ou la nature

Sous la direction de Évelyne Tales

ENSEMBLE
DONNONS
vie à l'eau

Agence de l'eau

#4

L'Agence de l'eau Seine-Normandie a pour mission, conjointement avec les acteurs de l'eau, de conduire les eaux du bassin de la Seine vers le bon état écologique.

Depuis 1989, le Programme de Recherche Interdisciplinaire sur l'Environnement de la Seine (PIREN-Seine) nous aide à mieux comprendre le fonctionnement du bassin et contribue aux décisions de l'Agence.

Ce programme de recherche a apporté un éclairage décisif sur la manière dont les rivières et les zones humides participent à l'épuration de nos effluents, sur la nécessité de réduire nos rejets en phosphore pour limiter l'eutrophisation, sur l'impact attendu du changement de pratiques culturelles afin de réduire la contamination des eaux par les nitrates, etc.

Partenaire du PIREN-Seine, l'Agence de l'eau souhaite valoriser l'important travail accompli et soutenir les recherches futures en contribuant à la publication de ces travaux.

C'est l'objet de cette collection que de faire partager au plus grand nombre ces connaissances longuement mûries.

Guy Fradin

Directeur de l'Agence de l'eau Seine-Normandie

Le programme de recherche PIREN-Seine est né en 1989 de la volonté du CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique) de faire se rencontrer les chercheurs de diverses disciplines (une centaine de personnes appartenant à une vingtaine d'équipes) et les acteurs qui ont en charge la gestion des ressources en eau (une dizaine d'organismes publics et privés) dans cet espace de 75 000 km² constituant le bassin hydrographique de la Seine. En s'inscrivant dans la durée, tout en redéfinissant périodiquement ses objectifs et ses orientations, le programme, basé sur la confiance et le dialogue, a permis l'émergence d'une culture scientifique partagée entre gestionnaires et scientifiques. Les recherches à caractère appliqué sont menées dans un cadre coordonné privilégiant le développement de notre capacité à analyser, à comprendre et à prévoir le fonctionnement de cet ensemble régional d'écosystèmes qu'est le bassin de la Seine : comment ce territoire, avec sa géologie, son climat, sa végétation, mais aussi avec ses activités agricoles, domestiques et industrielles, fabrique-t-il à la fois le milieu aquatique lui-même et la qualité de l'eau de nos rivières et de nos nappes ?

Par un pilotage souple et participatif, le programme a su concilier, au sein d'une même démarche, les exigences d'une recherche fondamentale qui vise à fournir les clés pour comprendre, avec celles de la demande sociale qui attend des outils pour guider l'action.

Mais la demande sociale ne s'exprime pas seulement par le questionnement technique des gestionnaires. Elle passe aussi par le débat public avec les élus, les associations, les citoyens. L'état présent du milieu aquatique résulte de l'action millénaire de l'homme sur son environnement. Sa qualité future dépendra de ce que nous en ferons ; ce qui appelle un débat sur la manière dont nous voulons vivre sur le territoire qui produit l'eau que nous buvons, compte tenu des contraintes que nous imposent la nature et la société. L'ambition du PIREN-Seine, en tant que programme de recherche publique engagé, est aussi d'éclairer un tel débat. C'est dans cet esprit que nous avons entrepris la publication de cette collection de travaux. Elle veut offrir aux lecteurs, sur les sujets porteurs d'enjeux en matière de gestion de l'eau, les clés de la compréhension du fonctionnement de notre environnement.

Jean-Marie Mouchel et Gilles Billen

Direction du Programme PIREN-SEINE



La collection du programme PIREN-SEINE

Cette collection analyse différents aspects du **fonctionnement du bassin de la Seine** et de ses grands affluents, soit 75 % du territoire d'intervention de l'Agence de l'eau Seine-Normandie. D'autres programmes, en liaison avec le PIREN-Seine, s'intéressent à des régions ou des problématiques différentes. Ainsi Seine-Aval se focalise sur l'estuaire de la Seine et édite une collection similaire depuis 1999.



#1 - Le bassin de la Seine



#2 - L'hydrogéologie



#3 - La pollution par les nitrates



#4 - Le peuplement de poissons



#5 - L'agriculture



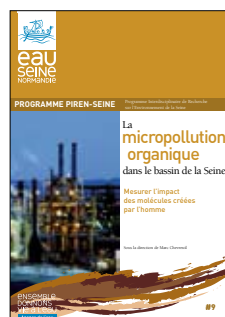
#6 - L'eutrophisation des cours d'eau



#7 - Les métaux







#8 - La contamination microbienne



#9 - La micro pollution organique

D'autres fascicules sont à paraître dans les domaines suivants : les zones humides, les pesticides, l'histoire de Paris, les petites rivières urbaines et les risques écotoxicologiques.

La couleur de chaque fascicule renvoie à l'un des quatre objectifs principaux de l'Agence de l'eau :

-  Développer la gouvernance, informer et sensibiliser sur la thématique de l'eau
-  Satisfaire les besoins en eau, protéger les captages et notre santé
-  Reconquérir les milieux aquatiques et humides, favoriser la vie de la faune et de la flore
-  Dépolluer, lutter contre les pollutions de l'eau et des milieux aquatiques

Le peuplement de poissons du bassin de la Seine

Auteurs :

Jérôme BELLARD⁽¹⁾, Guillaume GORGES⁽¹⁾, Céline LE PICHON⁽¹⁾, Évelyne TALES⁽¹⁾

Contributions :

Romuald BERREBI⁽²⁾, Philippe BOËT⁽³⁾, Olivier LE DOUBLE⁽²⁾

A close-up photograph of a fish's head, likely a salmon, in an underwater environment. The fish is positioned on the left side of the frame, with its head facing right. The background is a sandy and rocky riverbed with some green aquatic plants. The lighting is natural, highlighting the texture of the fish's scales and the surrounding environment.

RÉSUMÉ

Le peuplement piscicole du bassin de la Seine résulte de la conjonction d'un ensemble complexe de facteurs naturels et anthropiques.

Ceux-ci déterminent aussi bien le nombre d'espèces, que leur répartition et leur typologie.

L'importance des variations constatées au XX^e siècle (qu'il s'agisse de la disparition d'espèces migratrices ou ensuite de la reconquête naturelle du bassin de la Seine par d'autres suite à la réduction de la pollution en aval) démontre combien la faune piscicole est sensible aux variations intervenant sur les habitats.

Il est donc important de bien identifier quels sont les facteurs régissant la répartition des poissons, en fonction des préférences écologiques des différentes espèces.

En ce qui concerne les facteurs naturels, sont notamment mis en évidence, dans le présent fascicule, les variations en fonction de l'axe longitudinal, l'impact de la nature géologique des sols, l'influence de la répartition des habitats et de leur accessibilité. Mais des facteurs propres à l'intervention de l'homme expliquent les spécificités du bassin de la Seine.

Différents outils permettent de mener des analyses précises. En utilisant des outils de modélisation, il est possible de mieux appréhender les liens existant entre les caractéristiques des milieux et la répartition des poissons. L'objectif est ainsi de pouvoir prédire le développement ou la disparition d'espèces en fonction de l'évolution des facteurs liés à l'action de l'homme.

Les effets résultant des aménagements liés à la chenalisation de la Seine, les conséquences de la pollution dans les zones marquées par l'anthropisation*, l'impact de la disparition des zones humides périfluviales naturelles, sont ainsi clairement établis. De la même manière, les effets de la variation des débits résultant notamment des barrages-réservoirs doivent être étudiés pour identifier les espèces qui subiront les effets positivement ou négativement.

L'étude des interactions existant entre les habitats du bassin de la Seine et les actions menées par l'homme, doit ainsi permettre d'intégrer dans les décisions de gestion du bassin de la Seine, la réflexion de leurs impacts potentiels sur le peuplement piscicole.

* voir glossaire

SOMMAIRE

7 Introduction


CONNAÎTRE

8 L'état de la faune piscicole du bassin de la Seine

- 9 Une faune naturellement pauvre en espèces suite aux périodes de glaciation
- 11 Une implantation massive d'espèces exotiques à partir du XIX^e siècle
- 12 Des disparitions d'espèces autochtones touchant principalement les espèces migratrices
- 14 Récentes évolutions suite à l'amélioration de la qualité de l'eau


ANALYSER

16 Les facteurs déterminant la répartition des espèces

- 17 Évolution longitudinale
- 19 Variations régionales résultant des formations géologiques
- 20 Modélisation de la répartition des espèces
 - > Pourquoi recourir à la modélisation ?
 - > Le choix de l'outil de modélisation s'est porté sur la méthode des arbres de décision
 - > Vers la formalisation de scénarios intégrant l'impact des activités humaines
- 21  LES ARBRES DE DÉCISION : UNE MÉTHODE DE MODÉLISATION DE LA PRÉSENCE DES ESPÈCES

COMPRENDRE

24 Le rôle des habitats piscicoles

- 25 Principes et méthodes d'analyse des habitats vitaux des poissons
 - > Démarche générale de cartographie des habitats vitaux des poissons
 - > Méthodes d'évaluation de la structure spatiale des habitats vitaux : cas de la plaine de la Bassée
- 29  UTILISATION DU LOGICIEL ANAQUALAND POUR L'ÉVALUATION DE LA CONNECTIVITÉ DANS LES COURS D'EAU
- 30 Le rôle clé des zones humides périfluviales comme habitats de reproduction

ÉVALUER

32 L'impact des facteurs d'anthropisation sur les peuplements piscicoles de la Seine

- 33 Effets de la chenalisation
 - > Impact sur les habitats aquatiques du lit mineur
 - > Impact sur les zones de reproduction et nurserie pour les jeunes poissons
 - > Impact sur les habitats aquatiques du lit majeur : modélisation appliquée au brochet
- 38 Effets de la variabilité des débits sur les habitats vitaux des poissons

40 Conclusion

INTRODUCTION

Le bassin de la Seine est l'un des bassins européens les plus marqués par la présence de l'homme, en raison de la présence et du développement de l'agglomération parisienne autour de laquelle se focalisent de nombreux enjeux socio-économiques.

Les poissons, en tant qu'organismes vivants peuplant le réseau hydrographique, ont subi l'impact de l'anthropisation* : la faune piscicole qui peuple le bassin* de la Seine aujourd'hui résulte de cette histoire intimement liée à celle des activités humaines. Elle a toutefois, antérieurement, été modelée par les évolutions climatiques successives, qui lui ont conféré une origine biogéographique commune à l'ensemble de la faune de poissons d'eau douce d'Europe.

Ainsi, la compréhension des facteurs naturels qui régissent l'implantation des espèces et leur répartition au sein du réseau hydrographique est un préalable essentiel pour pouvoir analyser ensuite les effets de l'anthropisation.

Les facteurs qui contrôlent la répartition et le niveau d'abondance des espèces de poissons changent en fonction de l'échelle spatiale considérée.

Cela implique d'adopter une approche emboîtée à plusieurs échelles pour comprendre les relations entre les espèces de poissons et leurs habitats de vie.

- **À l'échelle du bassin de la Seine** dans son ensemble, les facteurs liés à l'évolution de la taille des cours d'eau (la dimension longitudinale) ainsi qu'à la nature du bassin versant sont importants pour expliquer leur fonctionnement.

- **À l'échelle d'un secteur de cours d'eau**, la disponibilité des habitats nécessaires à l'accomplissement du cycle de vie des espèces de poissons est le facteur clé.

- **À l'échelle d'une station***, les poissons ont des préférences d'habitats qui résultent de la combinaison de paramètres d'habitats locaux.

Des questions plus spécifiques au bassin de la Seine et à son aménagement sont abordées : impact des rejets de l'agglomération parisienne, gestion des débits par les barrages-réservoirs, chenalisation des grands cours d'eau, conséquence de l'artificialisation des plaines alluviales sur le recrutement*.

Au fur et à mesure de l'amélioration des connaissances générales sur les peuplements, les travaux de recherche se sont accompagnés de la mise au point d'outils de modélisation originaux permettant notamment de prédire la répartition des espèces à l'échelle de l'ensemble du réseau hydrographique de la Seine.

Plus localement, à l'échelle d'un secteur, des outils d'analyse spatiale permettent d'apprécier l'influence de l'arrangement des habitats et de leur fragmentation sur la structuration des populations.

Ces outils doivent permettre une meilleure gestion intégrée des milieux aquatiques.





L'état de la faune piscicole du bassin de la Seine

L'ensemble du bassin de la Seine abrite aujourd'hui une faune estimée à 52 espèces de poissons d'eau douce. Mais cette situation n'est pas figée : la composition de la faune actuelle est le fruit d'une histoire complexe qui mélange à la fois des processus biogéographiques anciens liés au passé géologique et climatique de l'Europe, et des phénomènes plus récents liés à l'impact de l'homme sur les cours d'eau et les espèces piscicoles elles-mêmes.



Une faune naturellement pauvre en espèces suite aux périodes de glaciation

À la fin de l'ère tertiaire et durant l'ensemble du Quaternaire (-2 millions d'années), le continent européen a subi une succession d'épisodes glaciaires qui ont fortement marqué la faune piscicole.

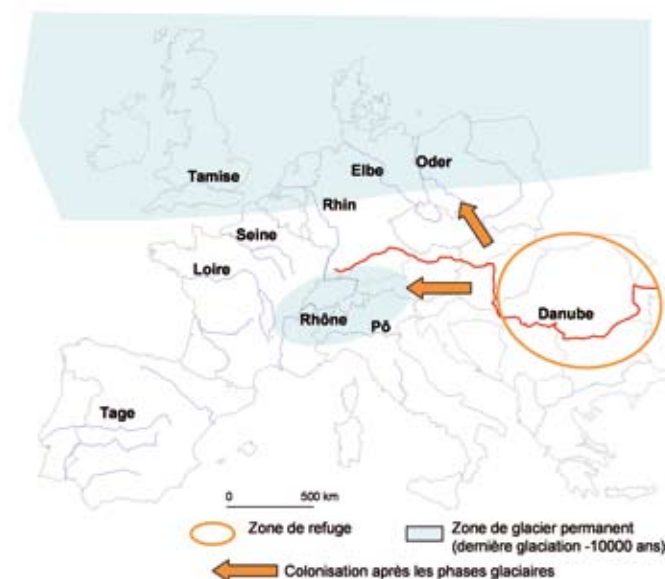
Les phases glaciaires ont profondément bouleversé la distribution des espèces en entraînant un déplacement de leur aire de répartition autour de zones refuges au climat plus clément, généralement situées au sud du continent.

Contrairement à la plupart des espèces terrestres relativement peu contraintes dans leurs déplacements, l'effet de ces phénomènes sur la faune de poissons d'eau douce a été d'autant plus fort qu'elles sont incapables de circuler en dehors des limites imposées par le réseau hydrographique.

Leurs possibilités de retrait vers les zones refuges sont donc étroitement dépendantes des rares possibilités de connexions entre bassins.

> De nombreuses espèces parmi les plus thermophiles encore présentes en Europe à la fin du Tertiaire ont définitivement disparu du continent.

Pour l'ensemble de l'Europe (à l'exception notable des péninsules méditerranéennes), les chances de survie des poissons d'eau douce étaient plus importantes dans le bassin du Danube (notamment, le Danube moyen et aval) en raison des conditions climatiques régnant durant cette période (figure 1).



C'est pourquoi, ce bassin a constitué leur principal refuge à partir duquel les processus de colonisation vers l'ouest et le nord de l'Europe se sont déroulés lors des phases interglaciaires, quand les conditions de vie redevenaient favorables pour les espèces les plus thermophiles.

> On constate un appauvrissement graduel de la faune piscicole de l'est vers l'ouest et le nord de l'Europe. La Seine située à l'extrémité occidentale du continent est par conséquent un bassin naturellement pauvre en espèces.

On estime que la faune originelle du bassin de la Seine se composait d'une trentaine d'espèces (entre 24 et 33 selon les hypothèses) à comparer avec les 44 espèces autochtones rencontrées sur le bassin du Rhin, et la centaine naturellement présentes dans celui du Danube.

Paradoxalement, si les épisodes glaciaires ont entraîné un appauvrissement de la faune européenne et une contraction de l'aire de répartition des espèces, ils ont aussi, plus ponctuellement, favorisé leur dissémination entre bassins voisins. En effet, les phases glaciaires se sont accompagnées d'une baisse importante des niveaux des mers, permettant la connexion entre bassins hydrographiques auparavant isolés entre eux par le milieu marin. Ainsi lors du dernier épisode glaciaire (-10 000 ans), suite à une baisse du niveau des mers de plusieurs dizaines de mètres, la Seine s'écoulait à l'emplacement actuel de la Manche où elle confluaient avec des rivières aujourd'hui côtières du nord-ouest de la France et du sud de l'Angleterre.

> Les épisodes glaciaires ont favorisé les échanges faunistiques entre différents ensembles hydrographiques maintenant isolés par la mer.

Figure 1 : Carte actuelle des principaux fleuves européens. Étendue approximative des glaciers permanents lors de la dernière glaciation et situation du refuge glaciaire Ponto-caspien à partir duquel les poissons d'eau douce ont pu recoloniser les bassins nord et ouest européens.

CONNAÎTRE

Famille	Espèce	Nom français	Statut	Date d'apparition	Origine biogéographique
Petromyzontidae	Lampetra planeri	Lamproie de planer	A		
Cyprinidae	Alburnoides bipunctatus	Spiralin	A*		
	Alburnus alburnus	Ablette	A*		
	Barbus barbus	Barbeau fluviatile	A*		
	Carassius auratus	Carassin doré	I	18 ^{ème} siècle	Asie
	Carassius carassius	Carassin commun	I + C	18 ^{ème} siècle	Europe
	Carassius gibelio	Carassin argenté	I + C	20 ^{ème} siècle	Asie
	Ctenopharyngodon idella	Amour blanc	I	2 ^{ème} moitié du 20 ^{ème} siècle	Asie
	Cyprinus carpio	Carpe commune	I	Moyen Âge	Europe
	Blicca bjoerkna	Brème bordelière	A*		
	Abramis brama	Brème commune	A		
	Chondrostoma nasus	Hotu	C	signalé vers 1860	
	Chondrostoma toxostoma	Toxostome	I et/ou C (?)	signalé vers 1990	
	Hypophthalmichthys molitrix	Carpe argentée	I	2 ^{ème} moitié du 20 ^{ème} siècle	Asie
	Leucaspis delineatus	Able de Heckel	I	20 ^{ème} siècle	Europe
	Leuciscus cephalus	Chevaine	A		
	Leuciscus idus	Ide mélanote	I	signalé vers 1995	Europe
	Leuciscus leuciscus	Vandoise	A		
	Telestes soufia	Blageon	I (?)	signalé vers 1980	
	Phoxinus phoxinus	Vairon	A		
	Rutilus rutilus	Gardon	A		
	Scardinius erythrophthalmus	Rotengle	A*		
	Tinca tinca	Tanche	A*		
	Gobio gobio	Goujon	A		
	Pseudorasbora parva	Pseudorasbora	I	20 ^{ème} siècle	Asie
	Rhodeus amarus	Bouvière	A*		
Cobitidae	Cobitis taenia	Loche de rivière	A*		
Balitoridae	Barbatula barbatula	Loche franche	A		
Siluridae	Silurus glanis	Silure glane	I	signalé vers 1980	Europe
Ictaluridae	Ictalurus melas	Poisson-chat	I	1871	Amérique du Nord
Esocidae	Esox lucius	Brochet	A		
Umbridae	Umbra pygmaea	Umbre pygmée	I	début du 20 ^{ème} siècle	Amérique du Nord
Salmonidae	Salmo trutta fario	Truite fario	A		
	Oncorhynchus mykiss	Truite arc-en-ciel	I	vers 1880	Amérique du Nord
	Salvelinus fontinalis	Ombre de fontaine	I	vers 1880	Amérique du Nord
	Thymallus thymallus	Ombre commun	I	vers 1950	
Gadidae	Lota lota	Lote	A*		
Gasterosteidae	Gasterosteus aculeatus	Epinoche	A		
	Pungitius pungitius	Epinochette	A		
Percidae	Gymnocephalus cernua	Grémille	C (?)	fin du 17 ^{ème} / début du 18 ^{ème} siècle	Europe
	Perca fluviatilis	Perche	A		
	Stizostedion lucioperca	Sandre	I + C	vers 1960	Europe
Centrarchidae	Lepomis gibbosus	Perche soleil	I	vers 1885	Amérique du Nord
	Micropterus salmoides	Black bass à grande bouche	I	vers 1890	Amérique du Nord
Cottidae	Cottus gobio	Chabot commun	A		

Tableau I : Liste des espèces d'eau douce autochtones et introduites sur le bassin de la Seine.

On distingue des espèces dont le statut d'autochtone est quasi certain (A) et des espèces autochtones probables (A*) pour lesquelles la possibilité d'une introduction par l'homme ne peut pas totalement être exclue. I : espèce exotique introduite. C : espèce exotique ayant colonisé le bassin de la Seine à partir des canaux de navigation trans-bassins.

Une implantation massive d'espèces exotiques à partir du XIX^e siècle

Très tôt, l'homme a été en mesure de modifier la composition de la faune du bassin par le biais d'introductions volontaires d'espèces nouvelles.

Dès le IX^e siècle, sous l'impulsion des communautés religieuses, se développe une importante activité de pisciculture d'étangs qui a favorisé la dissémination de nombreuses espèces piscicoles entre les différents bassins hydrographiques. Mais l'impact réel de cette période sur la faune de la Seine reste aujourd'hui encore mal connu.

C'est véritablement à partir de la seconde moitié du XIX^e siècle que les implantations d'espèces nouvelles se multiplient avec l'émergence d'un véritable engouement pour les essais d'acclimatation de poissons exotiques, par simple curiosité naturaliste ou avec un objectif affiché d'amélioration de la productivité piscicole des eaux douces françaises.

À cette époque, le phénomène touche essentiellement des espèces nord-américaines (poisson-chat, perche soleil, truite arc-en-ciel par exemple) dont l'écologie et la biologie sont souvent très différentes des espèces européennes.

Après une phase de relatif ralentissement entre les deux guerres, le phénomène reprend à nouveau dans la seconde moitié du XX^e siècle, mais avec des motivations sensiblement différentes de celles du siècle précédent : les espèces concernées étaient essentiellement choisies en fonction de leur intérêt halieutique* ou aquacole*. Cette seconde vague d'introduction touche alors essentiellement des espèces d'origine européenne et asiatique.

En marge des introductions directes, les aménagements des hydrosystèmes ont également favorisé, de manière indirecte, l'installation d'espèces nouvelles sur le bassin.

Dès le XVII^e siècle est entreprise la mise en place d'un réseau de canaux de navigation qui va progressivement mettre en contact la Seine avec les bassins hydrographiques voisins, favorisant ainsi les déplacements d'espèces d'un bassin à un autre. Deux espèces, au moins, la grémille vers 1800 puis le hotu vers 1860, ont colonisé le bassin de la Seine en utilisant les canaux de navigation trans-bassins.

Pour d'autres espèces, comme le sandre par exemple, la part entre la colonisation via les canaux d'une part, et les introductions directes d'autre part, est plus difficile à établir.

> À la fin du XX^e siècle, 23 espèces nouvelles s'étaient implantées plus ou moins durablement sur le bassin du fait des actions directes ou indirectes de l'homme.

Ce chiffre apparaît d'autant plus considérable que la faune originelle du bassin abritait une trentaine d'espèces seulement. Ce constat mérite néanmoins d'être nuancé dans la mesure où certains de ces poissons (truite arc-en-ciel par exemple) ne constituent pas, semble-t-il, de populations viables : leur maintien sur le bassin dépend entièrement de l'introduction répétée de nouveaux individus.

> L'implantation d'espèces exotiques sur le bassin constitue une tendance lourde qui semble s'accroître depuis quelques décennies et qui devrait se poursuivre à l'avenir.

Aujourd'hui, la plupart des grands bassins européens sont interconnectés pour les besoins de la navigation commerciale, favorisant ainsi la progression d'espèces d'origine danubienne vers l'ouest du continent. Des espèces comme l'aspe étendent maintenant leur répartition dans le nord-est de la France via le bassin du Rhin et devraient probablement s'implanter sur le bassin de la Seine dans les années à venir.

Parallèlement, le commerce de poissons de repeuplement, qui reposait initialement sur une production essentiellement locale, s'est largement ouvert sur des sources d'approvisionnement issues d'autres pays européens présentant parfois des faunes piscicoles assez différentes de la faune française.

Cette nouvelle situation multiplie fortement les risques d'importation et d'implantation d'espèces exotiques.



Le Danube.

Des disparitions d'espèces autochtones touchant principalement les espèces migratrices

Parmi les espèces autochtones de la Seine, les espèces migratrices sont celles qui ont donné les signes les plus précoces et les plus importants de déclin (tableau II).

Dans la seconde moitié du XIX^e siècle, l'aménagement du fleuve et de ses affluents pour la modernisation de la navigation commerciale atteint une nouvelle dimension :

- implantation généralisée de systèmes barrage-écluse ;
- canalisation des derniers secteurs « naturels » ;
- augmentation de la ligne d'eau et donc de la hauteur des barrages.

Pour les migrateurs, cela va rendre de plus en plus difficile et aléatoire l'accès aux secteurs de frayères ou de grossissement situés en amont.

Cette étape va marquer un coup fatal à plusieurs espèces qui, malgré quelques tentatives de soutien d'effectif par réempoissonnement, ne cesseront de décliner jusqu'à leur extinction définitive.

L'esturgeon, le saumon et la grande alose disparaissent du bassin au début du XX^e siècle.

L'effet négatif des obstacles physiques est d'autant plus marqué sur la Seine, qu'il s'est cumulé avec l'impact croissant des rejets domestiques et industriels sur la partie aval du fleuve.

Ainsi, des espèces comme l'alose feinte ou l'éperlan, dont les zones de frayères traditionnelles étaient situées dans la partie estuarienne du fleuve, ont maintenu des populations beaucoup plus tardivement.

Mais, elles ont manifestement disparu lorsque la pollution du fleuve atteint son niveau maximum à la fin des années 1960.

On considère que 7 espèces migratrices sur les 10 originellement présentes avaient disparu du bassin au début des années 1990, même si des individus isolés pouvaient être ponctuellement rencontrés dans la partie estuarienne du fleuve.

Parmi les trois espèces présentes, seule l'anguille était encore largement répartie sur le bassin.

Suite à l'importante réduction des pollutions sur la partie aval de la Seine, on assiste à des premiers signes de reconquête naturelle du bassin par certaines espèces.

L'éperlan a, par exemple, amorcé un retour spectaculaire à partir des années 2000 et constitue maintenant une part importante des poissons présents en estuaire.

La truite de mer est régulièrement observée en aval de Poses et semble se reproduire dans certains affluents (Andelle).

Des individus de grande alose et de lamproie marine sont de plus en plus régulièrement observés, y compris en dehors de la partie estuarienne du bassin.

Ces premiers signes de retour des migrateurs sont liés essentiellement à l'amélioration des conditions physico-chimiques dans l'estuaire.

Mais une reconquête plus globale ne peut s'envisager sans prise en compte des problèmes posés par les nombreux obstacles à la migration.

Famille	Nom Français	Statut	Date de disparition ou d'apparition	Origine biogéographique
Petromizontidae	Lamproie marine	A D	Disparition probable vers 1970	
	Lamproie de rivière	A		
Acipenseridae	Esturgeon de Sibérie	I	Signalé vers 2000	Europe
	Esturgeon européen	A D	Disparition en 1917	
Anguillidae	Anguille européenne	A		
Clupeidae	Grande alose	A D	Disparition vers 1920	
	Alose feinte	A d(?)	Disparition vers 1970	
Osmeridae	Eperlan	A d	Disparition vers 1970 (?)	
Salmonidae	Saumon Atlantique	A D	Disparition vers 1900-1910	
	Truite de mer	A d		
Pleuronectidae	Flet	A		

Tableau II : Liste des espèces migratrices.

A : espèce autochtone. D : espèce disparue. d : espèce considérée comme disparue à la fin du XX^e siècle et qui semble se réinstaller naturellement depuis quelques années. I : espèce exotique introduite.



Esturgeon.



Saumon Atlantique, espèce disparue en Europe.



Truite.



Anguille.

Récentes évolutions suite à l'amélioration de la qualité de l'eau

Récemment, le peuplement de poissons de la Seine dans la traversée de l'agglomération parisienne a évolué en réponse à l'amélioration de la qualité physico-chimique de l'eau due aux efforts de dépollution.

En effet, dans les années 1960, la pollution des eaux de la Seine atteint un degré tel que plusieurs dizaines de kilomètres du fleuve (en aval des rejets de l'agglomération parisienne) étaient pratiquement dépourvus d'oxygène en période d'étiage, et donc impropres à la vie piscicole. Seules les espèces de poissons les plus tolérantes y sont alors observées.

C'est à partir des années 1970 que d'importants efforts d'assainissement sont menés, permettant de réduire cette pollution chronique, au moins par temps sec.

En effet, dans les années 1990, les problèmes dus aux rejets par temps de pluie persistent, notamment lors d'orages estivaux. On observe des mortalités massives de poissons en raison de la chute de la teneur en oxygène dissous de l'eau de la Seine.

Des équipements d'oxygénation ont depuis été installés de manière à fournir transitoirement l'oxygène nécessaire à la survie des poissons.

> L'amélioration continue de la qualité physico-chimique de l'eau a entraîné une amélioration des peuplements de poissons de la Seine dans l'agglomération parisienne.

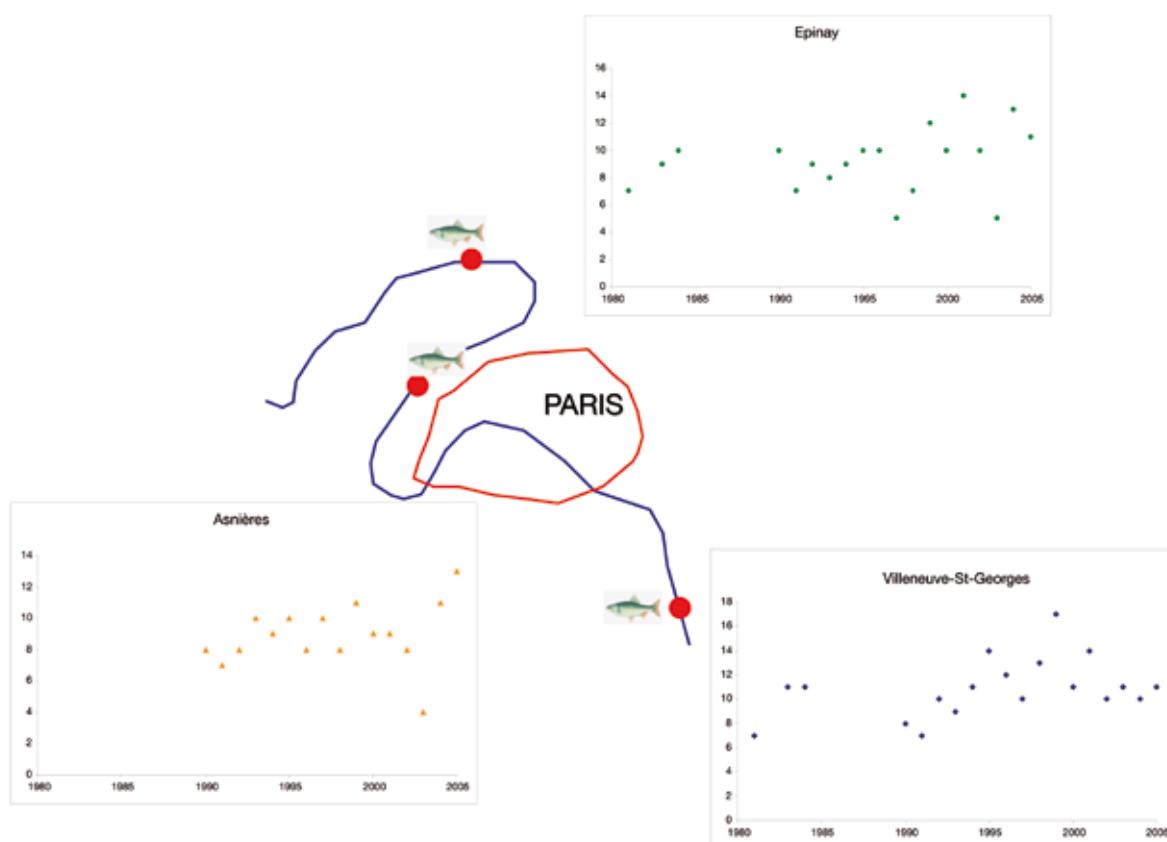


Figure 2 : Évolution temporelle de la richesse spécifique des peuplements de poissons de la Seine en amont (Villeneuve-St-Georges) et en aval de Paris (Asnières et Epinay) entre 1981 et 2005 (données sources : CSP, Cemagref et SIAAP).

La richesse spécifique des peuplements de poissons dans trois stations de l'agglomération parisienne tend à augmenter à partir de 1995, grâce à l'occurrence régulière d'espèces relativement sensibles à la qualité du milieu, telles que le barbeau ou la vandoise par exemple (figure 2).

En dépit de cette amélioration progressive de la qualité du milieu et donc, de la qualité des peuplements de poissons, l'effet de l'agglomération parisienne est toujours sensible.

Il se traduit par l'existence d'un gradient longitudinal décroissant de richesse spécifique : à l'amont de Paris, le peuplement de poissons de la Seine est globalement plus diversifié qu'à l'aval (figure 3).

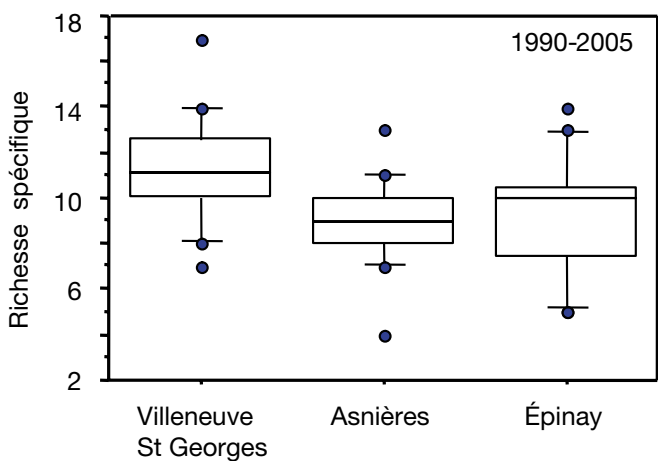
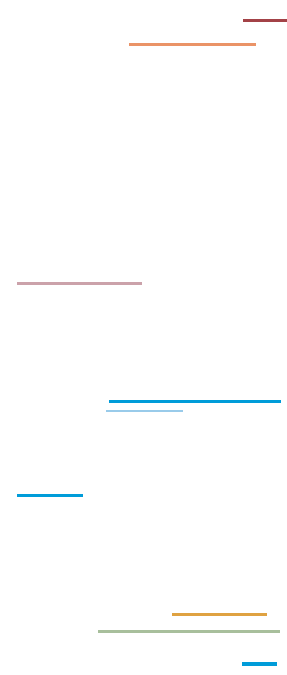


Figure 3 : Évolution longitudinale de la richesse spécifique du peuplement de poissons de la Seine entre 1990 et 2005. Les limites des "boîtes" correspondent aux percentiles 25 et 75 (délimitant un intervalle contenant 50% des valeurs observées) et leurs "branches", aux percentiles 10 et 90 (délimitant un intervalle contenant 80% des valeurs observées). La médiane* figure à l'intérieur des boîtes. (données sources : CSP et SIAAP).



La Seine à Paris.



Les facteurs déterminant la répartition des espèces

À l'intérieur du bassin, la répartition des poissons ne s'établit pas de manière aléatoire. Elle dépend étroitement des préférences écologiques des espèces. Les conditions environnementales locales telles que la température, la vitesse d'écoulement des eaux et la profondeur, déterminent la répartition des espèces. Ces conditions locales dépendent elles-mêmes de facteurs de contrôle plus globaux comme le climat, la géologie ou la structure du réseau hydrographique. Il en résulte une structuration des peuplements piscicoles marquée à la fois par des modifications de l'amont vers l'aval et des différenciations régionales.



Évolution longitudinale

La répartition des espèces de l'amont vers l'aval des cours d'eau constitue le trait le plus marquant de l'organisation des peuplements piscicoles de la Seine et son bassin, comme pour la plupart des systèmes fluviaux.

Celle-ci est globalement conforme aux modèles établis pour les cours d'eau européens. Ils conduisent à l'identification de « zones piscicoles » qui se succèdent de l'amont vers l'aval : zones à truite, à ombre, à barbeau et à brème (figure 4).

Cette organisation par « zones » résulte en fait de la conjonction de deux types de mécanismes :

- en amont du réseau hydrographique, des processus d'addition : les espèces présentes dans les plus petits cours d'eau sont progressivement rejointes par des espèces supplémentaires ;
- plus en aval, des processus de remplacement : les espèces typiques des secteurs amont disparaissent au profit d'espèces présentes uniquement à l'aval du réseau hydrographique.

Généralement, les processus d'addition et de remplacement se traduisent par une augmentation régulière du nombre d'espèces rencontrées de l'amont vers l'aval.

Plusieurs facteurs environnementaux permettent d'expliquer cette augmentation de la richesse en espèces vers l'aval.

L'instabilité et l'imprévisibilité des conditions de milieux des secteurs amont, notamment en termes de débit et de chimie de l'eau, augmentent les risques d'extinction des populations.

À l'inverse, l'augmentation de la stabilité et de la prévisibilité des milieux vers l'aval favorise le maintien des populations.

Parallèlement, on observe, en progressant vers l'aval, une diversification des habitats disponibles, favorable à la coexistence entre espèces.

Enfin, l'accroissement de la profondeur permet l'installation d'espèces de grande taille qui ne pourraient pas se maintenir durablement dans les milieux en amont, moins profonds.

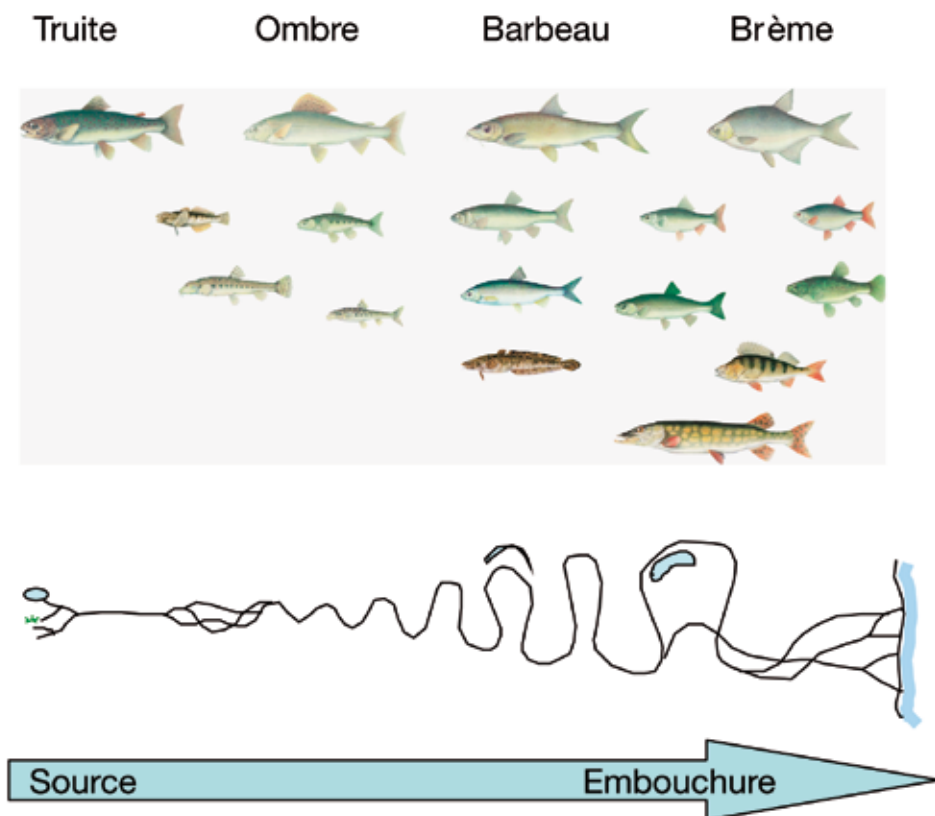


Figure 4 : Illustration de la succession des zones piscicoles de l'amont vers l'aval des cours d'eau.

ANALYSER

Sur la Seine, le phénomène d'augmentation du nombre d'espèces de l'amont vers l'aval ne se vérifie pas dans les faits : dans les secteurs de l'aval, fortement aménagés et soumis à des pollutions importantes, les processus d'extinction prennent le pas sur les processus de remplacement.

Contrairement aux systèmes fluviaux moins anthropisés, les communautés piscicoles plus riches se rencontrent dans la partie moyenne du fleuve (figure 5).

La richesse en espèces n'est pas la seule caractéristique à varier le long du gradient longitudinal.

On constate en effet que, parallèlement, les stratégies biologiques et écologiques des espèces évoluent.

On observe en particulier une modification de la structure trophique* des peuplements : si les espèces consommant des invertébrés dominent très largement le peuplement des cours d'eau amont, elles sont progressivement accompagnées puis remplacées par des espèces aux régimes alimentaires plus variés : espèces à tendance herbivore, détritivore, espèces piscivores.

De même, les stratégies démographiques évoluent :

- en amont, dominent les espèces à courte durée de vie, à faible fécondité mais qui assurent généralement une protection de leur ponte et/ou de leur descendance ;
- en aval apparaissent des espèces longévives*, à forte fécondité et qui, pour l'essentiel, ne protègent pas leur ponte.

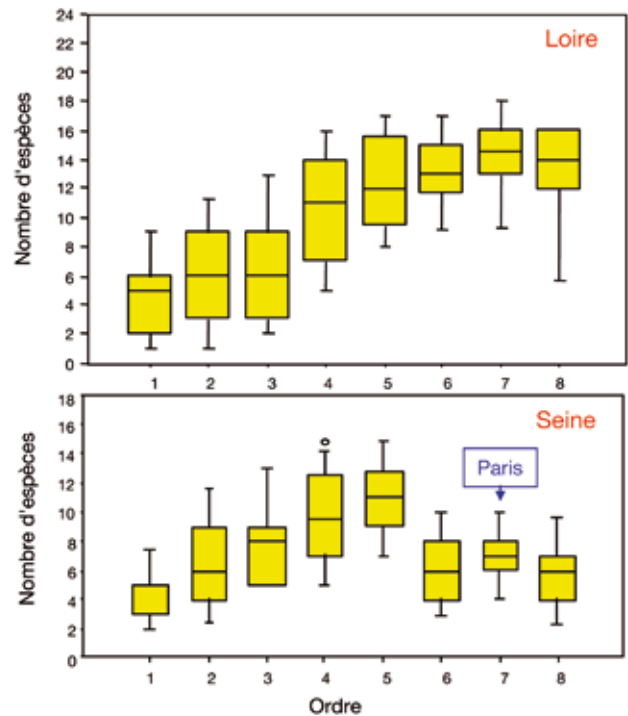


Figure 5 : Variation de la richesse spécifique des communautés piscicoles en fonction de l'ordre de Strahler* sur les bassins de la Seine et de la Loire. L'ordre de Strahler est un paramètre indicateur de la taille du cours d'eau. Il varie de 1 (pour les cours d'eau de tête de bassin) à 8 (pour les tronçons les plus en aval : Seine en aval de la confluence avec l'Oise, Loire en aval de la confluence avec le Cher).



Ombre.



Barbeau.

Variations régionales résultant des formations géologiques

En dehors d'une petite partie au sud du bassin correspondant au massif du Morvan et, dans une moindre mesure, l'extrémité amont du bassin de l'Oise issu des terrains schisteux des Ardennes, le bassin de la Seine draine essentiellement les terrains sédimentaires du Bassin Parisien dont le relief est globalement peu marqué.

En dépit d'une homogénéité apparente, il existe des différences sensibles concernant la nature géologique des terrains traversés.

Sur le bassin, les formations géologiques d'âge décroissant se succèdent de l'est vers le centre :

- terrains jurassiques, calcaires ou marneux, en amont du bassin ;
- terrains du crétacé inférieur argilo-sableux ;
- terrains du crétacé supérieur dominés par la craie ;
- terrains tertiaires de nature plus hétérogène au centre du bassin (figure 6).

Figure 6 : Principales régions naturelles du bassin de la Seine (d'après Dupias et Rey 1985).

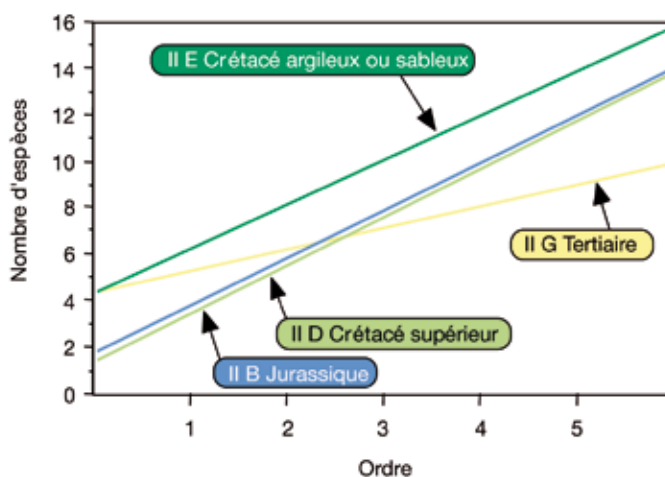
Compte tenu de la relative homogénéité climatique du bassin, ces régions naturelles dépendent étroitement des formations géologiques affleurant.

Figure 7 : Variation de la richesse spécifique des communautés piscicoles en fonction de l'ordre de Strahler* pour quelques régions du bassin de la Seine.

Ces différences de nature géologique des terrains traversés se retrouvent au niveau du fonctionnement et de la morphologie des cours d'eau eux mêmes.

Il existe ainsi des différences régionales sensibles concernant certaines caractéristiques des cours d'eau comme la pente, la sinuosité ou le régime hydrologique qui interviennent dans le contrôle de la composition des communautés de poissons.

À la structuration longitudinale des peuplements piscicoles évoquée précédemment se superpose une structuration régionale conforme à l'organisation des formations géologiques.



Modélisation de la répartition des espèces

POURQUOI RECOURIR À LA MODÉLISATION ?

La compréhension des liens unissant la répartition d'une espèce aux caractéristiques du milieu constitue une question centrale en écologie.

L'une des manières d'aborder cette question consiste à développer des modèles permettant de prédire la présence (ou l'absence) d'une espèce à partir de variables environnementales.

Il existe actuellement de nombreux outils permettant de bâtir de tels modèles, qu'il s'agisse de méthodes statistiques classiques (régressions linéaires ou logistiques) ou de méthodes plus novatrices (réseaux de neurones, arbres de décision...).

Une telle approche a été appliquée au sein du programme PIREN-Seine pour développer des outils permettant de prédire la répartition des espèces de poissons à l'échelle de l'ensemble du réseau hydrographique.



Bras mort.

LE CHOIX DE L'OUTIL DE MODÉLISATION S'EST PORTÉ SUR LA MÉTHODE DES ARBRES DE DÉCISION

La méthode des arbres de décision (voir les détails page 21) permet de modéliser des relations non linéaires entre des variables, ce qui constitue un trait caractéristique des relations espèces - environnement.

Cette méthode offre, en outre, l'avantage de pouvoir être utilisée avec des jeux de données « bruitées »* (notamment présentant des données manquantes). Elle prend en compte simultanément des variables prédictives qualitatives telles que la région naturelle et quantitatives comme le débit, ce qui permet d'obtenir des modèles « transparents » aux yeux de l'utilisateur, les variables sélectionnées et leur importance relative étant facilement accessibles.



LES ARBRES DE DÉCISION : UNE MÉTHODE DE MODÉLISATION DE LA PRÉSENCE DES ESPÈCES

Comme pour les méthodes de régression, la méthode des arbres de décision consiste à prédire une variable Y (ici la présence ou l'absence d'une espèce) par une série de variables explicatives Xi (ici les caractéristiques environnementales du cours d'eau).

Ces variables environnementales explicatives peuvent être regroupées en quatre ensembles :

- des variables liées à des facteurs globaux contrôlant le fonctionnement et la morphologie des cours d'eau et, en conséquence, pouvant affecter la répartition des espèces : écorégion (ou région naturelle), occupation du sol ;
- des variables rendant compte des conditions hydro-climatiques : débit et température ;
- des variables liées à la taille du cours d'eau : rang de Strahler* et surface de bassin versant ;
- des variables liées aux conditions d'habitat local : pente et sinuosité du cours d'eau, qualité de l'eau.

La phase de construction du modèle est réalisée sur un jeu de données « d'apprentissage ».

Elle consiste à séparer l'échantillon en 2 sous-ensembles homogènes du point de vue de la présence ou l'absence de l'espèce selon la variable explicative la plus pertinente.

La procédure est réitérée dans les sous-ensembles ainsi constitués, jusqu'à l'obtention de sous-ensembles totalement homogènes (toutes les observations correspondent à des absences ou à des présences) ou d'effectifs trop faibles pour rester représentatifs.

Une représentation graphique de la partition ainsi obtenue peut alors être faite sous la forme d'un arbre.

À chaque étape, la variable prise en compte, qui est la plus pertinente à cette étape là pour distinguer la présence (valeur 1) ou l'absence (valeur 0) de l'espèce, est notée ainsi que sa valeur seuil.

Par exemple, en premier lieu, c'est la valeur du débit maximum qui est prise en compte : le chevesne sera plutôt absent (valeur 0) dans les stations où le débit maximum est inférieur à 1178 m³/s, puis la sinuosité supérieure à 1.12, et enfin la pente supérieure à 0.19 (branche de gauche).

Chaque modèle est ensuite validé et évalué à partir d'un second jeu de données (le jeu « d'entraînement ») indépendant du jeu « d'apprentissage ».

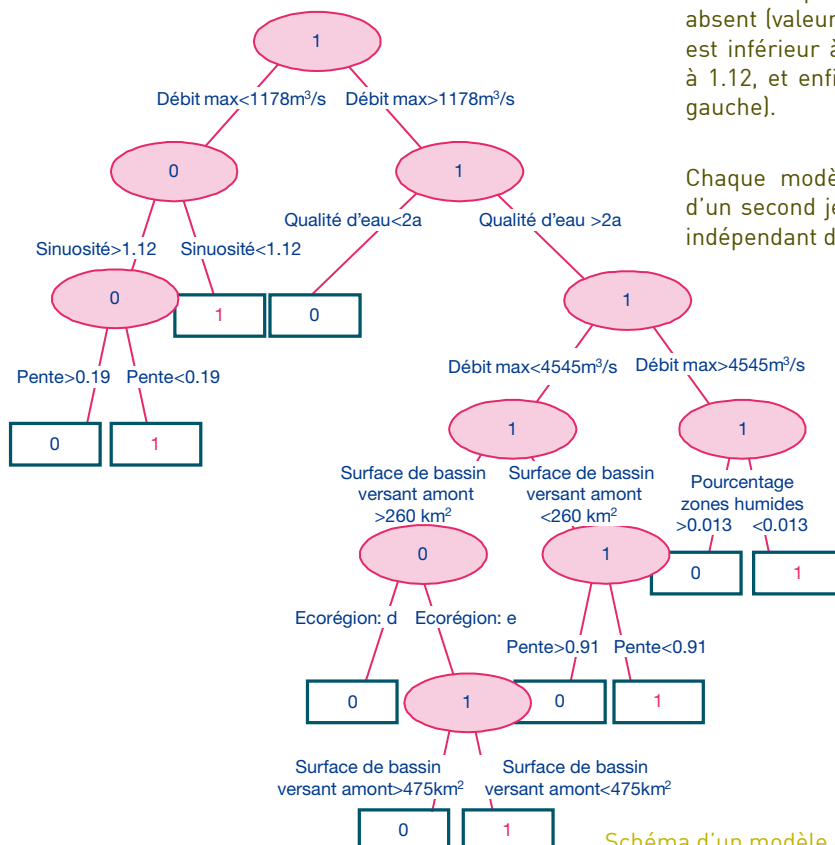


Schéma d'un modèle d'arbre de décision (exemple du chevesne).

ANALYSER

Pour les 25 espèces les plus fréquentes sur le bassin, les relations complexes entre leur répartition et les caractéristiques de l'environnement ont ainsi pu être modélisées à partir d'un jeu de données de plus de 100 stations dont le peuplement piscicole est parfaitement connu.

Dans l'ensemble, les modèles ainsi construits se révèlent très satisfaisants dans la mesure où leur capacité prédictive est considérée comme bonne ou excellente pour près des ¾ des espèces examinées.

On peut appliquer cette démarche à l'ensemble du bassin par l'intermédiaire d'une base de données géoréférencées fournissant les caractéristiques environnementales de la totalité des tronçons de cours d'eau.

Les résultats de ces modèles permettent de prédire la répartition des espèces sur l'intégralité du réseau hydrographique, y compris sur des secteurs n'ayant jamais fait l'objet d'échantillonnage piscicole.

Ils permettent ainsi d'établir des cartes de répartition potentielle pour chaque espèce (figure 8).

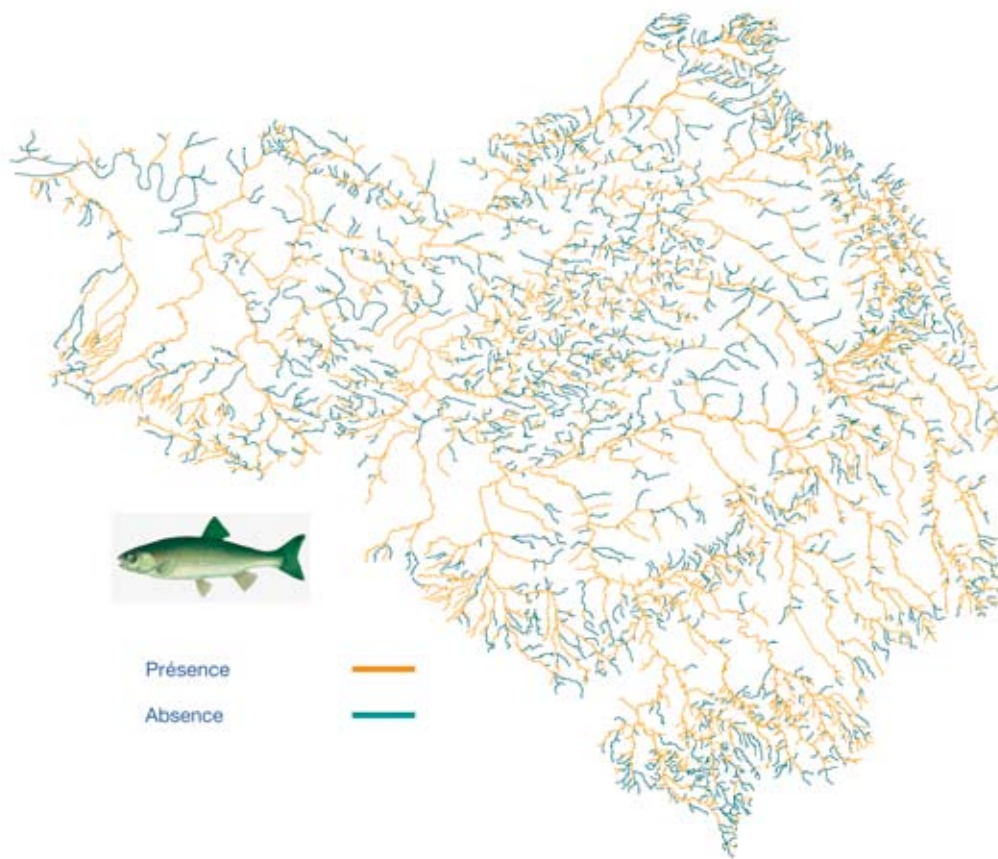


Figure 8 : Carte de répartition potentielle du chevesne dans les cours d'eau du bassin de la Seine. Cette carte résulte du modèle d'arbre de décision élaboré pour cette espèce. La présence ou l'absence du chevesne est donc la réponse de l'espèce à la combinaison des variables d'habitats intégrées dans ce modèle.

VERS LA FORMALISATION DE SCÉNARIOS INTÉGRANT L'IMPACT DES ACTIVITÉS HUMAINES

Les variables prédictives retenues dans les modèles comprennent à la fois des variables relativement « immuables » sur lesquelles l'homme n'a généralement pas d'action sensible (cas du rang de Strahler* ou de la surface de bassin versant par exemple) et des variables plus ou moins directement affectées par les activités humaines (par exemple la qualité d'eau ou l'occupation des sols).

En jouant sur les valeurs prises par cette seconde catégorie de variables, il est alors possible d'imaginer différents scénarios d'aménagement ou d'évolution des pressions anthropiques, et d'en prévoir les conséquences probables sur la répartition des espèces.

Dans cet esprit, les impacts possibles du changement climatique sur la répartition de quelques espèces cibles ont été abordés en considérant les résultats des modèles avec une diminution de 2°C des températures hivernales et une augmentation de 2°C des températures estivales par rapport aux conditions actuelles.

Ces résultats permettent de déterminer les espèces les plus sensibles à de telles évolutions climatiques et d'évaluer les modifications potentielles de leur aire de répartition (tableau III).

L'ablette, par exemple, semblerait bénéficier des effets de l'évolution hydroclimatique, alors que le chabot verrait plutôt sa répartition régresser.



Chabot.

	Conditions thermiques		
	Conditions actuelles (occ, %)	Conditions simulées (occ, %)	Δ %
Ablette	14,30	81,88	67,58
Barbeau	28,11	32,28	4,17
Chabot	52,10	51,71	- 0,40
Chevaine	23,47	23,47	0,00
Goujon	43,08	45,18	2,09
Loche franche	40,66	40,96	0,30
Vairon	44,31	44,69	0,38
Vandoise	35,28	36,25	0,97

Tableau III : Prédiction de l'occurrence de 8 espèces de poissons (en % de tronçons occupés) selon les conditions thermiques actuelles et en fonction d'un scénario de modification climatique (+ 2°C de la température moyenne en juillet et - 2°C de la température moyenne en janvier).



Le rôle des habitats piscicoles

L'accomplissement du cycle de vie des poissons requiert différents types d'habitats pour assurer les fonctions de protection, reproduction et alimentation. La cartographie de ces espaces, comme leur accessibilité, permet d'expliquer la répartition des espèces de poissons. Leur étude montre en particulier le rôle primordial que jouent les zones humides périfluviales.



Principes et méthodes d'analyse des habitats vitaux des poissons

Le cycle de vie des poissons est complexe et requiert divers types de milieux aquatiques pour chaque stade de développement : larve, juvénile et adulte (figure 9B).

Aux stades juvénile et adulte, un cycle saisonnier se met en place (figure 9A).

Pour survivre, les individus adultes doivent pouvoir s'alimenter, se reproduire et trouver des refuges pour se protéger de leurs prédateurs ou de conditions environnementales particulièrement difficiles (des températures extrêmes hivernales ou estivales, des épisodes de crues mais aussi des pollutions par exemple).

Les fonctions vitales d'alimentation, de reproduction et de protection se déroulent dans des habitats dont les caractéristiques varient pour chaque espèce de poisson et éventuellement pour chaque stade de développement.

Selon le degré d'exigence des espèces et leurs préférences écologiques, le cycle de vie peut s'effectuer dans son intégralité au sein du même milieu aquatique, ou au contraire nécessiter des milieux différents, parfois séparés par de grandes distances.

Dans ce cas, l'accomplissement du cycle de vie implique des mouvements ou des migrations entre ces habitats vitaux.

Ainsi, l'existence de différentes populations locales dans un cours d'eau dépend de la présence de diverses taches d'habitats* vitaux et de la possibilité pour les individus de se déplacer entre elles (figure 9C).

L'étude de la structure spatiale des diverses taches des habitats vitaux ainsi que la connectivité entre ces taches est une étape importante pour évaluer l'intégrité d'un cours d'eau et proposer des mesures de préservation et de restauration des habitats aquatiques.

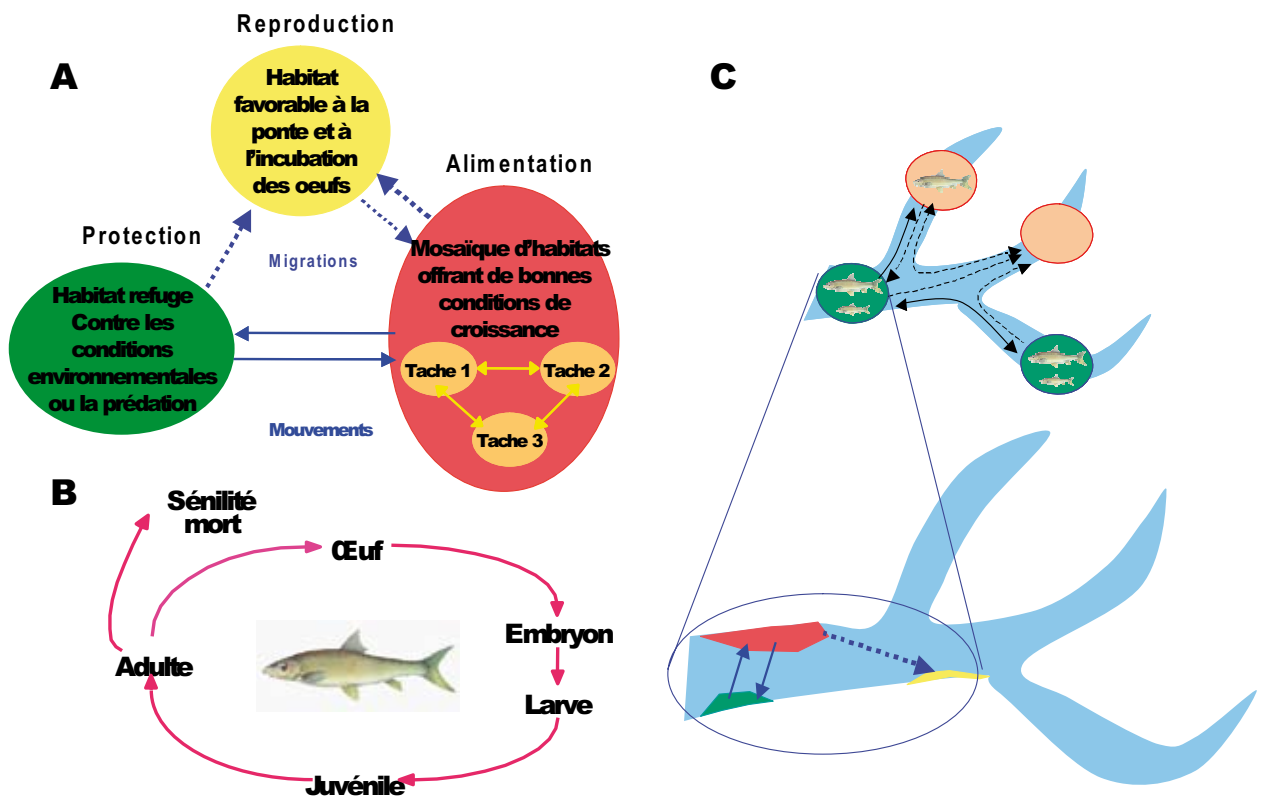


Figure 9 : A) Cycle saisonnier d'utilisation des habitats vitaux (fonction d'alimentation, de protection et de reproduction) ; B) Cycle de vie d'un poisson d'eau courante C) Populations locales (cercles verts et oranges) échangeant des individus par dispersion.

DÉMARCHE GÉNÉRALE DE CARTOGRAPHIE DES HABITATS VITAUX DES POISSONS

L'inventaire des habitats supportant les fonctions de protection/repos, d'alimentation et de reproduction est réalisé à partir de la cartographie physique de l'axe principal d'écoulement de la rivière et des milieux annexes.

Cette cartographie consiste à mesurer diverses variables physiques pertinentes pour la caractérisation des habitats vitaux (figure 10), telles que la vitesse du courant, la hauteur d'eau et la nature du substrat. Les mesures de chacune de ces variables sont regroupées de façon à constituer une couche d'information d'un système d'information géographique (SIG).

Les cartes des habitats vitaux des poissons sont ensuite réalisées par combinaison des couches d'information du SIG selon les préférences écologiques des espèces étudiées (figure 10).

Finalement, l'inventaire des habitats vitaux est disponible pour une gamme de débits sous forme de différentes cartes au sein d'un système d'information géographique.

MÉTHODES D'ÉVALUATION DE LA STRUCTURE SPATIALE DES HABITATS VITAUX : CAS DE LA PLAINE DE LA BASSÉE

Dans un secteur de cours d'eau, la structure spatiale des habitats vitaux peut être évaluée à l'aide de métriques* caractérisant leur composition (surface totale, aire médiane, nombre de taches...) et leur configuration (distance moyenne entre taches voisines, indice de proximité).

Ces métriques fournissent des mesures quantitatives à l'échelle des taches d'habitats et de chaque habitat vital.

De manière expérimentale, une analyse de ce type a été appliquée à un secteur de la Seine dans la plaine de la Bassée, concernant les habitats de frayères de plusieurs espèces.

À titre d'exemple, cette analyse indique que la composition des frayères varie pour divers groupes d'espèces de poissons dans le secteur de la Seine compris entre Conflans-sur-Seine et Nogent-sur-Seine (tableau IV), ainsi que la disponibilité de cet habitat vital.

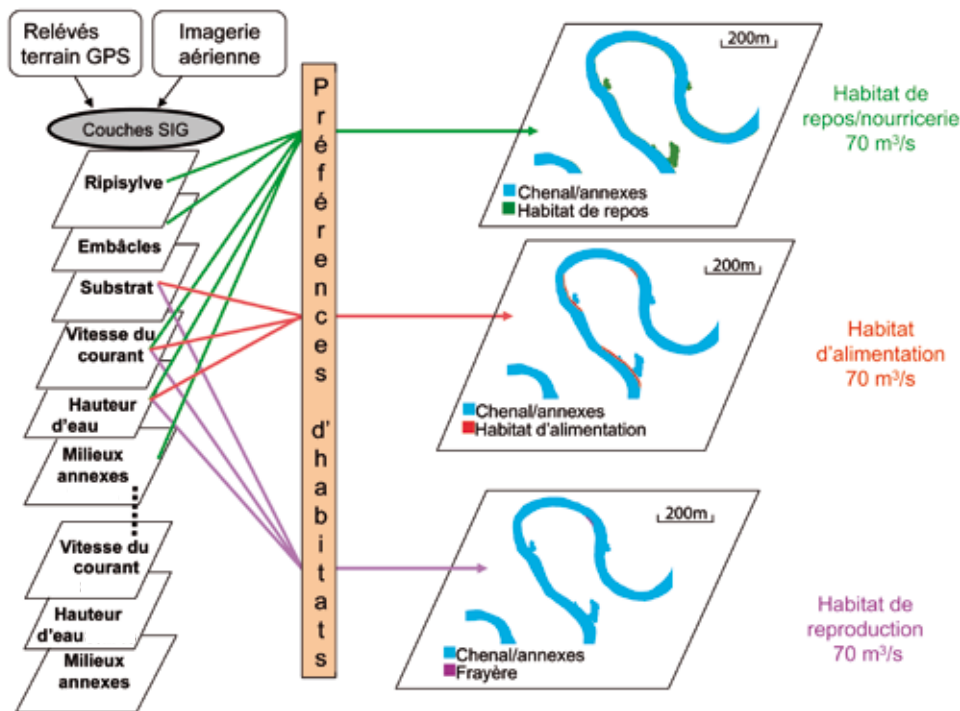


Figure 10 : Schéma général de la démarche utilisée pour cartographier les habitats vitaux des poissons à l'aide d'un SIG. Exemple de cartes obtenues pour les espèces barbeau (*Barbus barbus*) et hotu (*Chondrostoma nasus*) dans un secteur naturel de la Seine dans la plaine de la Bassée. Les habitats ci-dessus ont été cartographiés pour un débit de la rivière de 70 m³/s

Groupes fonctionnels d'espèces	Barbeau hotu	Vandoise vairon	Chabot	Grémille perche commune sandre	Goujon spirilin gardon chevesne ablette	Bouvière poisson-chat perche soleil black-bass
Nombre de zones potentielles de frayères	24	21	6	105	73	69
Surface totale de frayères (m ²)	85 416	48 185	465	180 953	107 895	168 575
Surface médiane d'une frayère (m ²)	1490	949	22	258	700	820
Surface totale/surface mouillée (%)	5,83	3,29	0,03	12,36	7,37	11,51

Tableau IV : Nombre de frayères et surfaces potentielles observées dans un secteur naturel de la Seine dans la plaine de la Bassée (bief de Conflans/Seine à Nogent/Seine) pour différents groupes rassemblant les espèces par affinités écologiques.

Des méthodes d'analyse ont aussi été développées pour identifier la proximité spatiale entre différents habitats vitaux et leur connectivité, ceci pour permettre de savoir si ces habitats vitaux sont accessibles aux espèces.

Ces mesures de connectivité dans le cours d'eau ont nécessité le développement du logiciel Anaqualand (voir encart page 29), spécifiquement réalisé pour répondre aux contraintes des milieux d'eaux courantes.

À l'échelle journalière, les individus ont à la fois besoin d'habitats de repos et d'alimentation pour accomplir leurs activités quotidiennes.

Une analyse de la complémentarité* entre ces deux

types d'habitats fournit des cartes des aires potentielles d'activités journalières. Elle permet de visualiser la localisation et la distribution de ces aires.

Lors de la saison de reproduction, les individus recherchent en priorité les habitats de frayères, ce qui peut les amener à s'éloigner notablement de leurs aires d'activité journalière.

Une analyse analogue à la précédente permet de visualiser alors la localisation des habitats de frayères ainsi que leur accessibilité.

Pour évaluer l'accessibilité des frayères, les cartes de frayères sont couplées aux capacités de déplacement des espèces liées notamment à leur taille corporelle (figure 11).

Elles sont également pondérées par le coût associé au déplacement des individus pour se rendre dans un habitat de frayère : ce peut être une dépense énergétique supplémentaire tout comme une prise de risque par une exposition accrue à la prédation (figure 12).



Poisson-chat.

COMPRENDRE

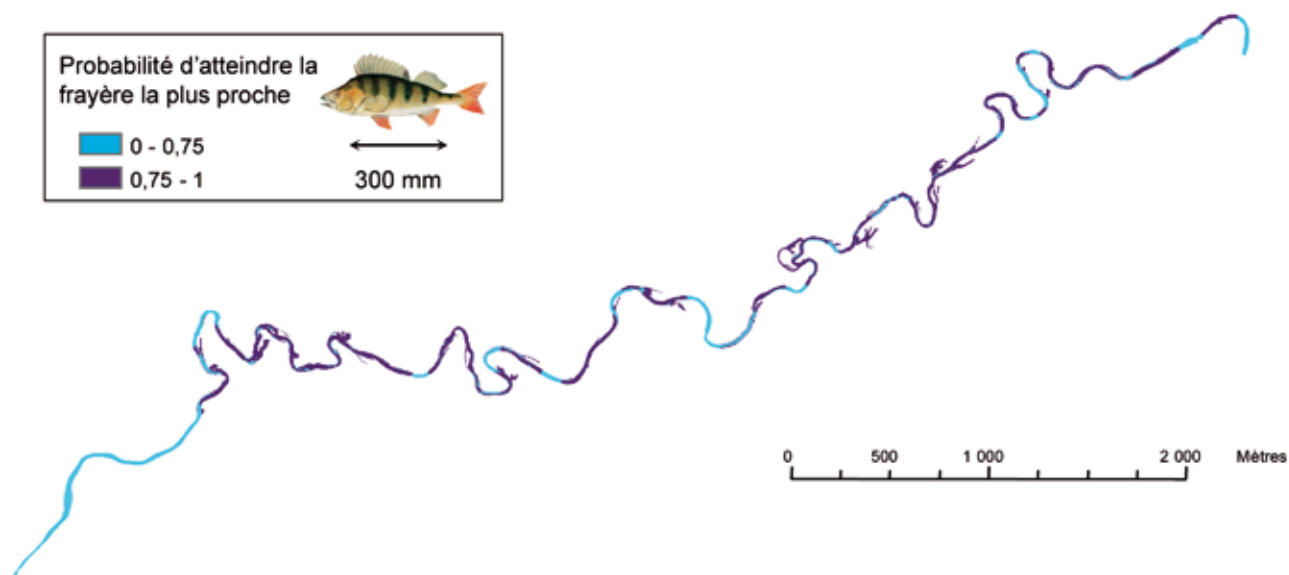


Figure 11 : Carte d'accessibilité aux frayères pour un percidé (grémille, perche commune et sandre) dans le secteur de la Seine entre Conflans/Seine et Nogent/Seine (Aube). L'accessibilité est évaluée à l'aide d'une probabilité d'atteinte de la frayère la plus proche.

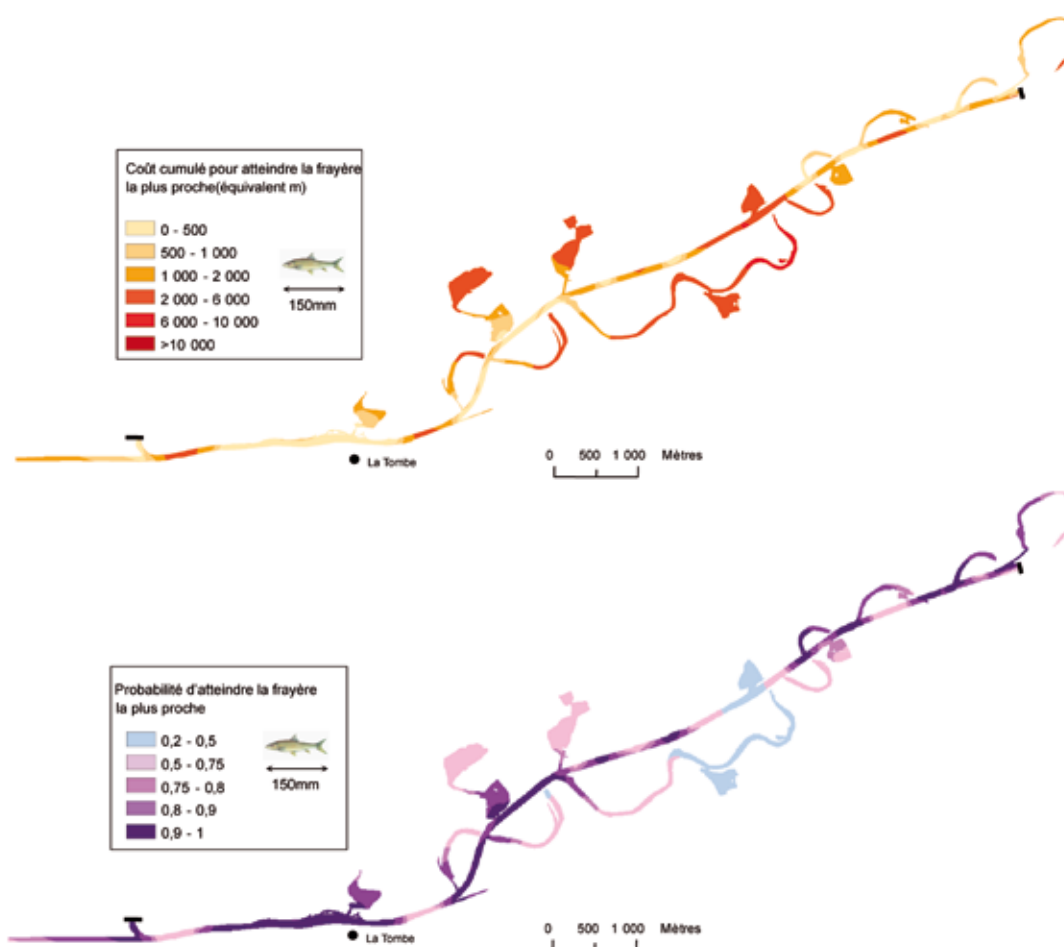


Figure 12 : Illustration du coût cumulé (RCM: résistances cumulées minimales) et de la probabilité d'atteindre la frayère la plus proche pour un barbeau fluviatile dans le bief de la Seine entre Bray/Seine et Marolles (Seine-et-Marne).



UTILISATION DU LOGICIEL ANAQUALAND POUR L'ÉVALUATION DE LA CONNECTIVITÉ DANS LES COURS D'EAU

L'analyse de la connectivité des habitats nécessaires au cycle de vie des poissons demande de calculer les distances qui existent entre les diverses taches* de ces habitats.

Le logiciel réalise des calculs de distance à partir de cartes qui représentent le contour du cours d'eau étudié et les habitats vitaux de l'espèce considérée.

Il peut prendre en compte les capacités de déplacement des espèces et leurs divers stades de développement.

CONNECTIVITÉ STRUCTURELLE ET CONNECTIVITÉ FONCTIONNELLE

Le logiciel permet d'évaluer la **connectivité structurelle** par le calcul d'une distance hydrographique (DH).

Celle-ci remplace la distance euclidienne qui n'a pas de réalité pour un poisson se déplaçant dans un cours d'eau. Elle représente la longueur du trajet le plus court partant d'un habitat source vers un habitat cible et passant par le cours d'eau (schéma).

La connectivité structurelle est donc représentée par la distance aquatique (et non pas à vol d'oiseau) entre deux types d'habitats nécessaires à l'activité de l'espèce considérée.

Toutefois, le déplacement des poissons entre ces deux types d'habitats n'est pas uniquement influencé par la distance qui les sépare : cette distance, aussi courte soit-elle, peut être jalonnée d'embûches (présence de prédateurs) ou comporter des obstacles infranchissables.

C'est pourquoi, il est nécessaire de pondérer la connectivité structurelle du milieu pour estimer la capacité effective des poissons à parcourir cette distance : c'est la connectivité fonctionnelle.

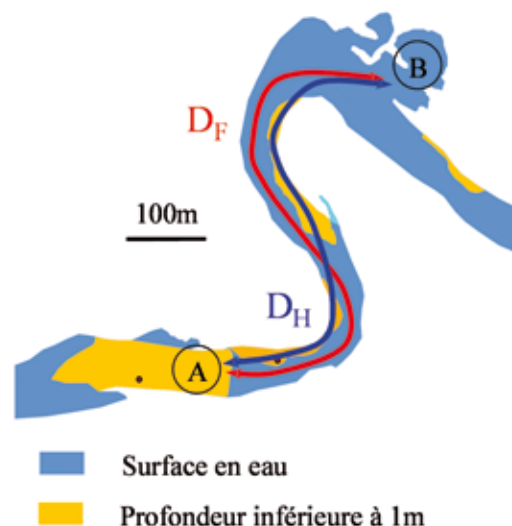


Illustration du calcul de la distance hydrographique (DH) et de la distance fonctionnelle (DF) dans un cours d'eau représenté en 2-D. DF est le tracé qui évite les profondeurs inférieures à 1 m qu'un poisson de grande taille aura du mal à traverser.

La **connectivité fonctionnelle** est estimée par le calcul d'une distance fonctionnelle (DF) qui intègre :

- 1) la capacité de déplacement de l'espèce ;
- 2) la résistance au déplacement d'un individu dans un cours d'eau, liée au type d'habitat (ex : quand la profondeur est faible, les poissons de grande taille peuvent être bloqués).

Elle intègre en fait la notion de coût associé au déplacement des poissons (dépense énergétique, risque accru de prédation...) : le trajet de migration le plus court (DH) n'est pas forcément le moins coûteux.

Ces coûts engendrés lors du déplacement des poissons sont intégrés par le calcul des résistances cumulées minimales (RCM) entre taches d'habitats et estimés sur l'ensemble du secteur d'étude considéré.

Ils interviennent ensuite pour estimer la probabilité qu'un individu d'espèce et de taille données puisse atteindre une tache d'habitat cible.

Le rôle clé des zones humides périfluviales comme habitats de reproduction

Les plaines alluviales des grands cours d'eau sont caractérisées par la présence de différents types de milieux aquatiques annexes au chenal principal.

Ces milieux constituent une mosaïque d'habitats qui offre en particulier des sites de reproduction et de nurserie à de nombreuses espèces de poissons.

La mosaïque d'habitats annexes au chenal conditionne le maintien naturel de la biodiversité piscicole dans les cours d'eau de plaine alluviale.

Dans un secteur naturel de la plaine alluviale de la Seine (la plaine de la Bassée), le rôle des milieux annexes pour la reproduction des poissons a été mis en évidence par l'étude de l'organisation des peuplements de jeunes poissons dans divers types de milieux annexes.

La diversité des peuplements de poissons répond à la diversité globale des types de milieux annexes en s'organisant selon un schéma de zonation latérale qui

dépend du gradient de connectivité* hydraulique des milieux annexes : il évolue des milieux d'eau courante tels que les bras secondaires (similaires au chenal principal) aux milieux calmes tels des mares, plus ou moins connectés au chenal principal.

Certains de ces milieux peuvent être en communication permanente avec le chenal principal alors que d'autres n'y seront connectés que lors d'inondations de fréquence biennale par exemple.

Le gradient de connectivité des milieux annexes offre une large diversité d'habitats favorisant la coexistence de nombreuses espèces de poissons dans un secteur de cours d'eau : les milieux annexes courants sont globalement favorables aux espèces d'eaux vives lithophiles* alors que les milieux calmes hébergent les espèces phytophiles* (figure 13).

Pour maintenir la biodiversité piscicole, il faut donc préserver l'ensemble de cette mosaïque de milieux annexes.

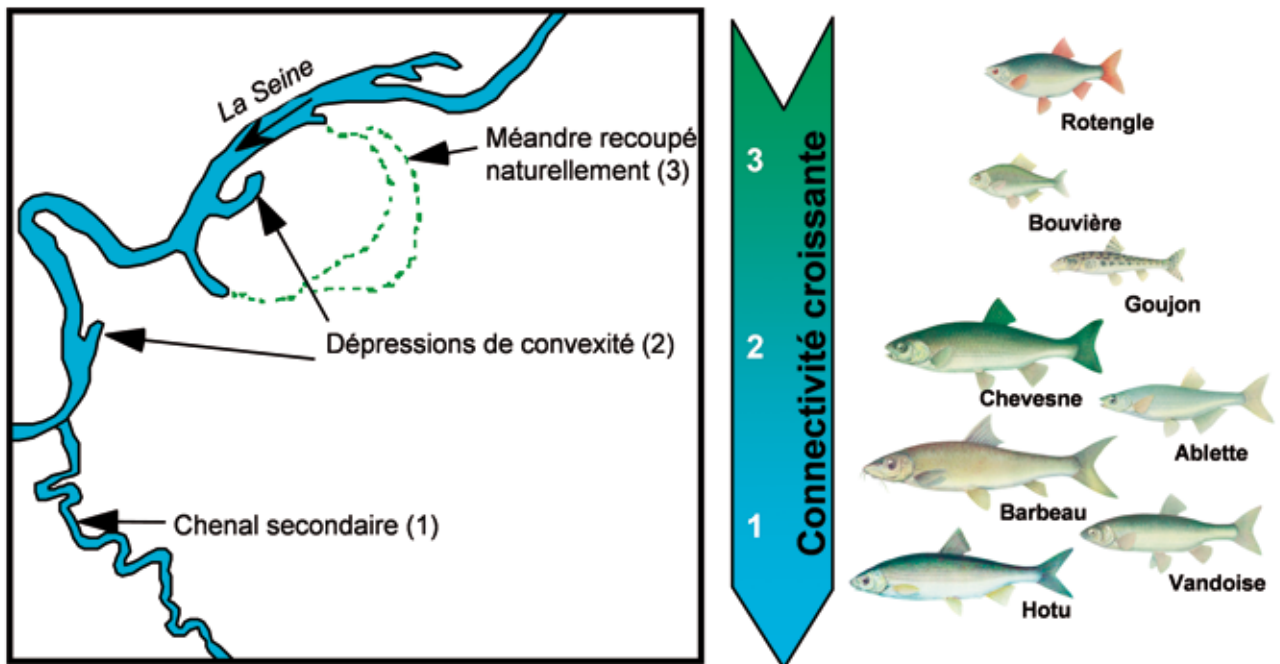


Figure 13 : Zonation latérale des poissons dans les milieux périfluviaux de la Seine dans la Plaine de la Bassée selon un gradient de connectivité* hydraulique croissante au chenal principal.

Des facteurs d'habitats autres que la diversité des types de milieux annexes influencent également la structure des peuplements de jeunes poissons.

L'hétérogénéité des habitats à l'intérieur des milieux annexes entre également en compte.

Une étude menée sur une vingtaine de milieux annexes connectés au chenal principal (tels que les dépressions* de convexité) a montré que les facteurs d'habitats locaux, caractéristiques des différents milieux, contrôlent les abondances des espèces de poissons.

Les facteurs majeurs sont liés :

- aux caractéristiques morphologiques des milieux annexes (surface en eau et importance de la connexion avec le chenal) ;
- à leur position longitudinale relative au barrage amont le plus proche ;
- à des paramètres d'habitats locaux tels que la présence de ripisylve, de végétation aquatique ou encore la nature du substrat.

Ainsi pour un type identique de milieu annexe, l'abondance des peuplements de jeunes poissons variera en fonction des combinaisons de facteurs d'habitats.

Enfin, dans ces milieux annexes connectés au chenal, la richesse spécifique totale des peuplements de jeunes poissons dépend en premier lieu de facteurs locaux d'habitat tels que la surface en eau des milieux annexes et leur niveau de productivité (estimé par la teneur en chlorophylle).

La richesse spécifique s'accroît progressivement avec la surface en eau du milieu annexe.

Sa relation avec la productivité suit une courbe en cloche, la richesse spécifique étant maximale pour des niveaux de productivité intermédiaire (Figure 14).

En revanche, la richesse en espèces des différents groupes fonctionnels de reproduction varie plutôt avec les facteurs d'habitats liés au contexte spatial (la connectivité ou la position longitudinale des milieux annexes), autrement dit les facteurs liés au paysage aquatique environnant les milieux annexes.

On constate que, globalement, la composition en espèces dépend du contexte spatial environnant.

- Pour savoir quelles espèces composeront le peuplement de poissons d'un milieu annexe, il faut examiner sa localisation dans le secteur étudié.
- Pour connaître le nombre total d'espèces coexistant dans un milieu, il faut s'intéresser aux conditions locales d'habitat de ce milieu.

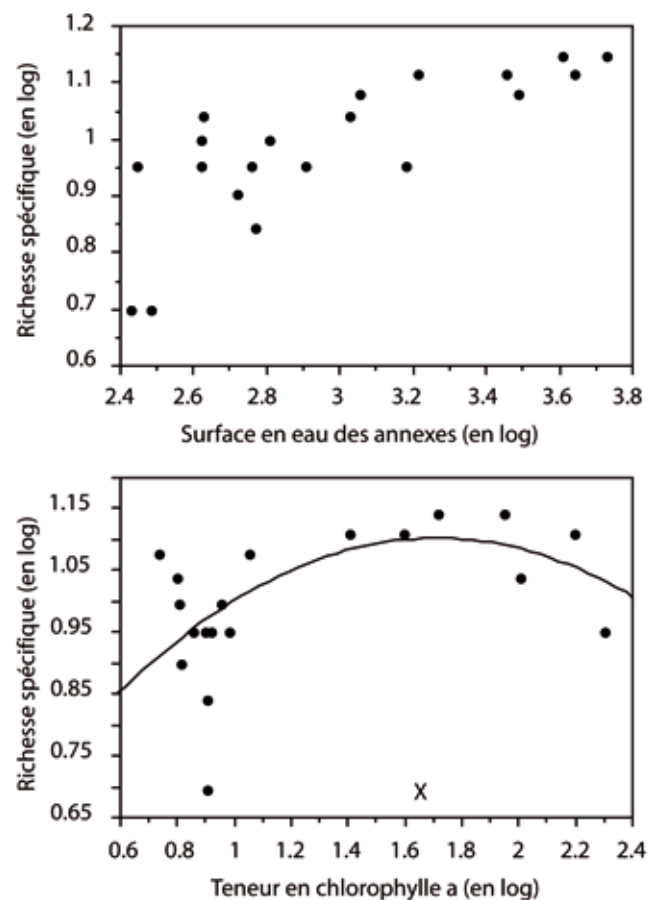


Figure 14 : Relations entre la richesse spécifique des peuplements de jeunes poissons de l'année des milieux annexes et 1) leur surface en eau et 2) leur teneur en chlorophylle (le symbole X correspond à une observation aberrante).



L'impact des facteurs d'anthropisation sur les peuplements piscicoles de la Seine

À l'impact des facteurs naturels sur la répartition des espèces de poissons, s'ajoutent les effets de l'action de l'homme. En particulier, différentes études doivent permettre d'évaluer dans quelle mesure les aménagements liés à la chenalisation de la Seine, de même que la gestion des débits, ont un impact direct sur le peuplement piscicole en modifiant les habitats.



Effet de la chenalisation

La plaine de la Bassée constitue un site expérimental intéressant pour étudier les effets des aménagements liés à la chenalisation de la Seine.

À des secteurs proches de l'état naturel succèdent des secteurs fortement anthropisés, suite à l'aménagement, dans les années 1970, du chenal principal au grand gabarit pour la navigation. Cette anthropisation a entraîné un bouleversement général de la morphologie de la plaine alluviale dans son ensemble.

Ses effets ont particulièrement été étudiés dans deux secteurs de la Seine : le secteur amont compris entre Conflans/Seine et Nogent/seine (Aube) et le secteur aval, entre Bray et Marolles (Seine-et-Marne).

L'artificialisation des berges et la régulation de la ligne d'eau pour la navigation dans le chenal réduit la gamme des vitesses disponibles (< 0,5 m/s).

Les milieux courants dont la profondeur est inférieure à 1m, ne représentent que 2,85 % de la surface totale, soit quatre fois moins que dans le bief naturel.

La faible représentation des milieux courants de faible profondeur dans le secteur aménagé fait diminuer fortement la disponibilité en habitat d'alimentation pour les espèces rhéophiles, barbeau et hotu (figure 16).

Ces faibles surfaces totales sont en général réparties en un nombre réduit de taches d'habitat de faible surface.

IMPACT SUR LES HABITATS AQUATIQUES DU LIT MINEUR

La création d'un chenal de navigation rectiligne, recoupant le chenal naturel à méandres et dans lequel la ligne d'eau est maintenue, modifie la répartition entre les milieux lenticques (sans courant) et les milieux lotiques (avec courant) du chenal (figure 15) :

- dans le bief aménagé, les milieux annexes sans courant sont dominants (54,7 % de la surface totale en eau) ;
- dans le bief naturel, le chenal lotique est dominant.

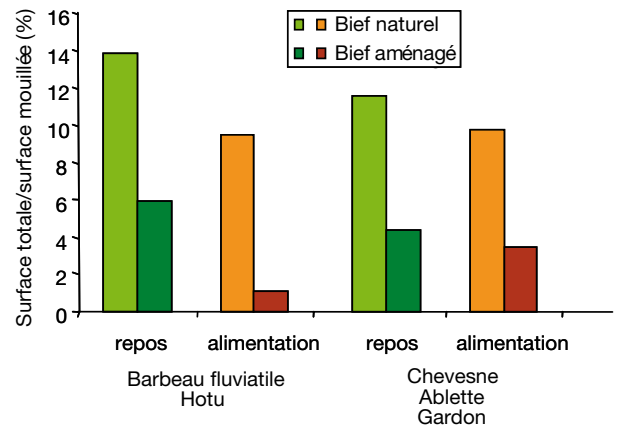


Figure 16 : Comparaison de la surface totale des habitats de repos et d'alimentation dans les deux biefs.

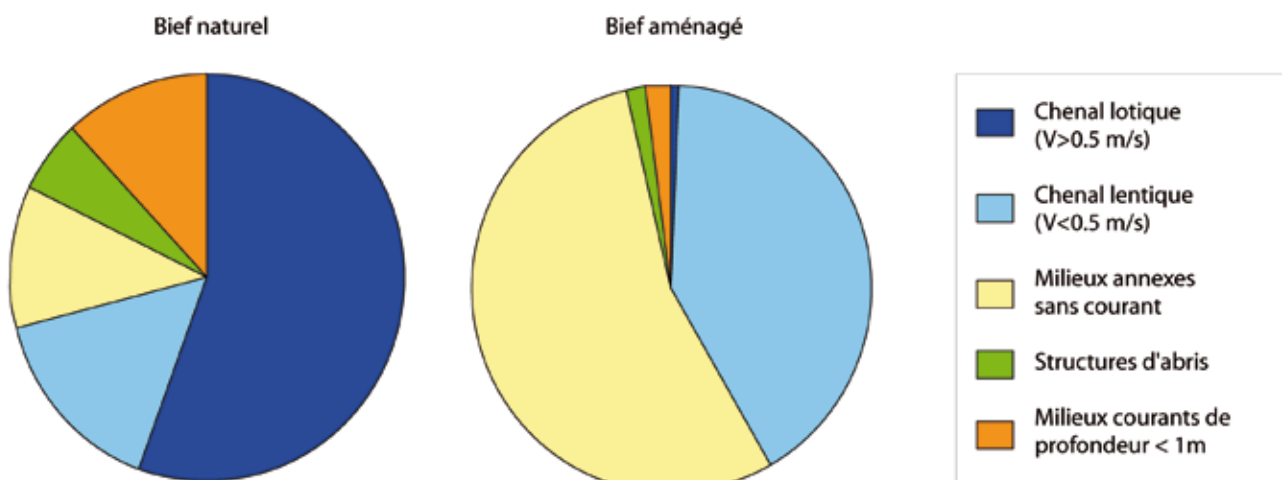


Figure 15 : Proportion des types de milieux présents dans les deux biefs, regroupés en 5 catégories.

La diminution quantitative de ces deux habitats vitaux quotidiens a un effet sur la quantité et la localisation des aires d'activités journalières de certaines espèces.

Cas du groupe des espèces rhéophiles* (barbeau et hotu) :

- Le secteur naturel compte 40 aires d'activités journalières atteignant 36% de la surface mouillée (figure 17A). Ces aires sont relativement bien réparties.

- Le secteur aménagé compte 10 aires d'activités journalières, représentant 9% de la surface mouillée (figure 17B).

Elles sont principalement situées dans la partie aval du chenal qui n'a pas été rectifiée.

La recherche de nourriture ou d'abris y implique des trajets plus longs pour les poissons, ce qui peut accroître les coûts énergétiques de déplacement et le risque de mortalité.



Milieu annexe naturel.

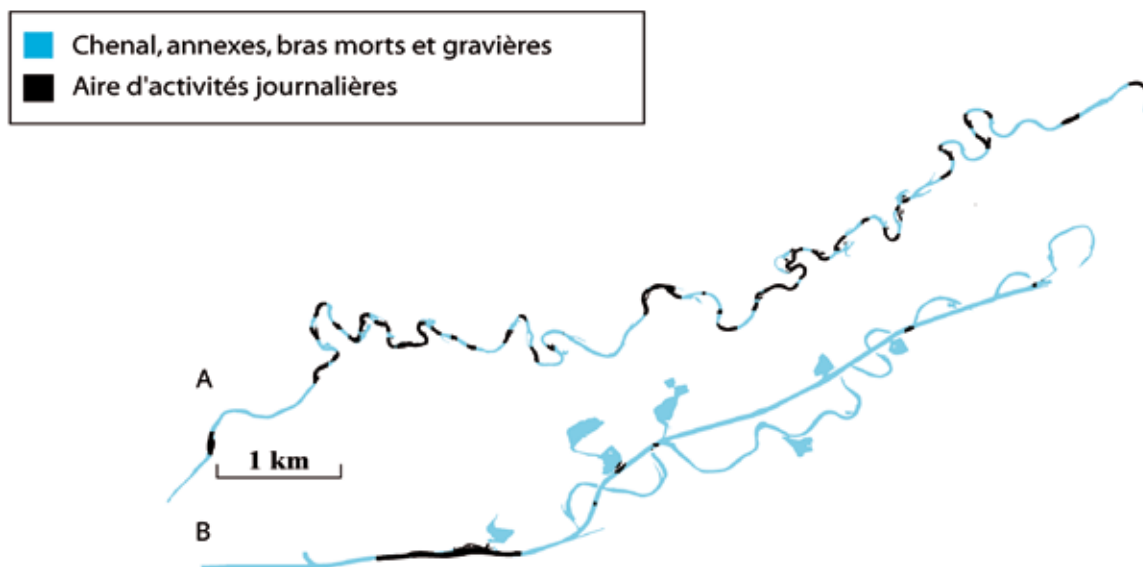


Figure 17 : Localisation des aires d'activités journalières pour le barbeau fluviatile et le hotu dans la plaine de la Bassée.
 (A) secteur naturel cartographié à 70 m³/s
 (B) secteur aménagé cartographié à 80 m³/s.

IMPACT SUR LES ZONES DE REPRODUCTION ET NURSERIE POUR LES JEUNES POISSONS

Avec la chenalisation, les zones humides périfluviales naturelles ont disparu. Elles sont remplacées par des milieux annexes d'origine exclusivement anthropique tels que des carrières en eau et d'anciens méandres rescindés.

Les potentialités de ces milieux artificiels vis-à-vis du recrutement* des espèces de poissons ont été comparées à celles des milieux annexes naturels.

Les constats sont les suivants :

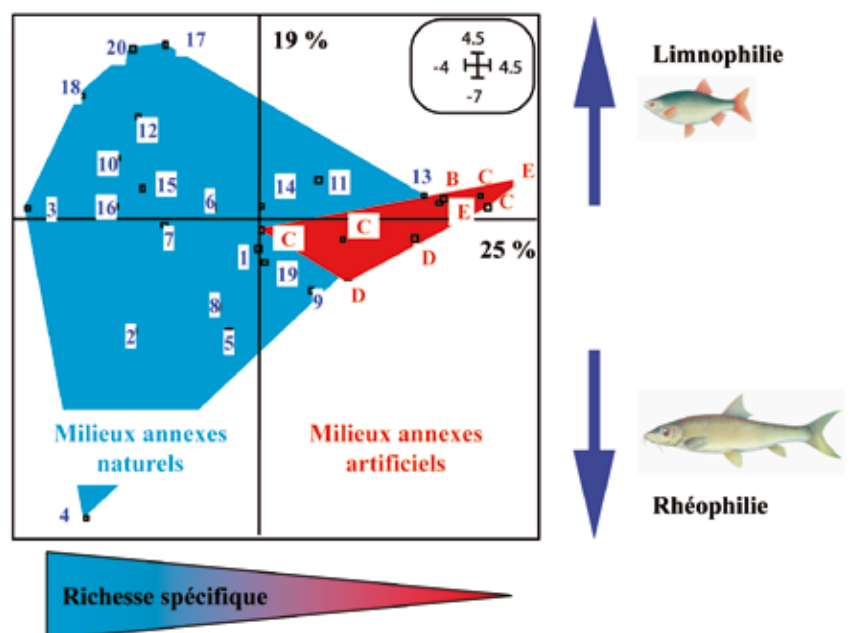
- Les aménagements ont tout d'abord un effet négatif global sur la densité de jeunes poissons de l'année observée dans des milieux annexes en connexion permanente avec le chenal principal : dans neufs milieux d'origine anthropique du secteur aménagé (anciens méandres rescindés et gravières), leur densité est plus faible que dans vingt milieux d'origine naturelle.
- Les milieux annexes artificiels ne se substituent pas aux milieux annexes naturels d'un point de vue fonctionnel, comme l'atteste la comparaison de la structure de leurs peuplements de jeunes poissons (figure 18) :
 - les milieux artificiels hébergent moins d'espèces que les milieux naturels.
 - ils sont moins propices à l'accueil d'une faune fonctionnellement diversifiée car, globalement, ils présentent une faible diversité d'habitat.

Notamment, ils hébergent essentiellement des espèces à faibles exigences écologiques (espèces généralistes) et sont dépourvus des espèces les plus spécialisées (celles strictement limnophiles* ou rhéophiles*).

En terme de recrutement des espèces de poissons, les milieux annexes d'origine anthropique ne permettent pas de remplacer efficacement les milieux annexes naturels détruits lors des aménagements de la Seine. La gamme de conditions d'habitats offerte par les milieux artificiels est restreinte en comparaison de celle rencontrée en contexte naturel.

Figure 18 : Structure des peuplements de jeunes poissons de l'année dans 29 milieux annexes de la Seine.

Carte factorielle résultant d'une Analyse en Composantes Principales des fréquences des 20 espèces capturées dans des milieux annexes naturels (points et chiffres bleus) et artificiels (points et lettres rouges). Horizontalement, la richesse spécifique est croissante de droite à gauche (des milieux artificiels vers les milieux naturels). Verticalement, l'analyse positionne les milieux selon les espèces qu'ils hébergent : il en résulte une organisation relative à la gamme des exigences écologiques des espèces, de la limnophilie* à la rhéophilie*. L'axe «richesse» et l'axe «écologie des espèces» correspondent respectivement à 25% et 19% de l'information.



IMPACT SUR LES HABITATS AQUATIQUES DU LIT MAJEUR : MODÉLISATION APPLIQUÉE AU BROCHET

Le brochet a un cycle de vie très particulier, notamment parce qu'il utilise comme habitat de reproduction les zones inondées du lit majeur.

Il affectionne tout particulièrement les prairies et pâturages inondés à l'occasion des crues printanières.

En période de reproduction, il effectue par conséquent des migrations latérales, du chenal principal vers les zones inondées du lit majeur.

La fonctionnalité d'une frayère à brochets repose sur :

- 1) son accessibilité par les géniteurs ;
- 2) sa qualité comme support de ponte et de développement des œufs, embryons et larves ;
- 3) sa proximité d'une voie d'eau permanente pour le retour des jeunes brochets.

Un modèle a été élaboré pour évaluer les surfaces de frayères à brochet potentielles dans la Seine, dans la plaine de la Bassée.

Il est basé sur la cartographie des usages du sol pouvant servir de substrat de ponte au brochet.

Les usages du sol les plus favorables sont donc les pâturages et prairies de fauche.

Or, dans le secteur de la Seine aménagé pour la navigation, les prairies ne représentent plus que 4,3 %, contre environ 14 % en 1950.

En 1999, les gravières totalisent 17 % de la surface totale de la plaine, s'établissant majoritairement au détriment des cultures, des bois et fourrés et des prairies (tableau V).

Type d'usage du sol	Secteur aménagé		Secteur naturel	
	Surface totale (ha)	Proportion relative (%)	Surface totale (ha)	Proportion relative (%)
Forêts, plantations, ripisylve	1084,02	24,9	1848,70	26,7
Cultures	998,93	22,9	1267,95	18,3
Gravières	741,23	17,0	309,66	4,5
Herbes hautes, friches	327,13	7,5	359,53	5,2
Rivière, annexes, bras morts et mares	281,48	6,5	242,71	3,5
Haies, bosquets	247,19	5,7	435,42	6,3
Pâturages ou prairies de fauche	188,83	4,3	943,26	13,6
Peupleraies âgées denses	147,73	3,4	322,74	4,7
Peupleraies jeunes	140,66	3,2	161,40	2,3
Espaces bâtis	110,62	2,5	582,55	8,4
Terres nues ou remblais de gravières	89,86	2,1	459,07	6,6
Total	4357,68	100	6932,99	100,0

Tableau V : Surface totale et proportion relative des types d'occupation du sol dans la plaine alluviale de la Bassée, secteur naturel en 2000 et secteur aménagé en 1999.

Le modèle élaboré permet de calculer les surfaces réelles et utiles de frayères potentielles pour le brochet.

Les surfaces réelles correspondent aux zones inondées qui peuvent effectivement servir de support de ponte pour cette espèce. Elles sont ensuite corrigées par un facteur d'accessibilité lié à la probabilité de retour des jeunes vers le chenal principal pour donner les surfaces utiles de frayères.

Ces surfaces sont inférieures dans le bief aménagé à celles du bief naturel, quel que soit le débit (figure 19).

Dans le bief naturel, le rapport entre la surface utile et la surface réelle reste relativement stable en fonction du débit, autour de 51-54 %.

Avec l'augmentation des zones inondées le long du bief, les frayères potentielles s'éloignent latéralement du chenal principal mais la structure du réseau de noues, parallèle au chenal principal, fournit des voies de migration pour le retour des jeunes.

En revanche, ce rapport augmente avec le débit dans le bief aménagé, passant de 15 % (150 m³/s) à 20 % (300 m³/s), mais reste à une valeur nettement inférieure à celle du bief naturel.

Ce faible rapport est lié au peu de frayères potentielles et notamment de prairies présentes dans les zones inondées de la plaine alluviale du secteur aménagé.

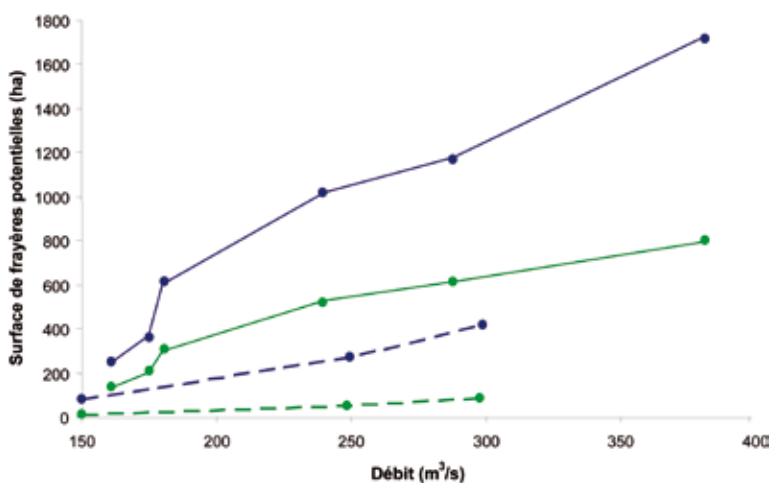


Figure 19 : Évolution des surfaces réelles (●) et utiles (●) de frayères à brochet potentielles (ha) en fonction du débit pour le secteur naturel (trait plein) et aménagé (trait pointillé).



Un brochet.

Effet de la variabilité des débits sur les habitats vitaux des poissons

Dans le secteur naturel de la Seine dans la plaine de la Bassée, la quantité et la structure spatiale des habitats vitaux varient avec le débit.

Si l'effet de la gestion des débits sur les variations de ces habitats, et notamment le fonctionnement des barrages réservoirs, n'a pas été directement étudié, il est possible de simuler des effets potentiels de certains modes de gestion des débits sur la disponibilité des habitats pour les poissons.

Pour les espèces rhéophiles* du barbeau et du hotu, les surfaces totales d'habitats d'alimentation et de frayères diminuent lorsque le débit passe de 38 m³/s à 70 m³/s (analyse des chroniques 1979-2004 à Pont-sur-Seine dans l'Aube).

C'est surtout le nombre de taches des habitats vitaux qui diminue quand le débit augmente (tableau VI).

Il en résulte une augmentation de l'éloignement des taches d'habitat entre elles, comme l'indique la distance médiane de voisinage entre deux taches consécutives.

Les habitats vitaux des barbeaux et hotus sont donc plus fragmentés quand le débit augmente (tableau VI).

Pour ces espèces, le soutien des débits pendant la période de reproduction, en avril-mai, peut avoir un impact négatif sur la disponibilité des frayères.

Par ailleurs, l'augmentation du débit entraîne une augmentation du nombre de milieux annexes connectés au chenal principal (tableau VI).

Ces milieux sont des lieux importants pour la croissance des jeunes poissons de l'année.

Par conséquent, en permettant la connexion avec un plus grand nombre de milieux annexes durant cette période de croissance des jeunes poissons, l'augmentation du débit peut être favorable à l'ensemble du peuplement piscicole de ce secteur de la Seine.

De même, la quantité et la structure des habitats de reproduction du brochet varient avec le débit.

Le brochet effectue des migrations latérales de reproduction vers les zones inondées du lit majeur, soit directement en bordure du chenal, soit par le biais des voies de migration en eau présentes dans la plaine alluviale comme les fossés, les canaux et les noues permanentes.

Grâce au modèle élaboré, qui tient compte à la fois de l'occupation des sols dans le lit majeur, de la localisation des habitats de frayères et de leur accessibilité par les géniteurs et les jeunes issus de la reproduction, il est possible de visualiser l'évolution des surfaces de frayères à brochet en fonction des débits (figure 20).

Naturellement, quand le débit augmente, la surface des frayères à brochet augmente également avec l'étendue de la zone inondée.

Mais, il est surtout important de noter que cette augmentation de débit permet la mise en eau de zones de frayères plus proches du chenal principal de la Seine.

Cette proximité améliore la qualité de ces zones de frayères dans la mesure où les jeunes brochetons réussissent à regagner le chenal principal plus facilement, ce qui garantit leur chance de survie.

L'augmentation du débit dans ce secteur de la Seine, en période de reproduction et de croissance des jeunes du brochet, entraîne l'augmentation non seulement de la surface totale mais surtout de la surface utile des habitats de frayères de cette espèce.

Débit	Milieux et habitats vitaux	Surface totale (m ²)	Nombre de taches	Distance médiane de voisinage (m)
38 m ³ /s	Chenal	1 295 360	-	-
	Milieux annexes	58 290	29	-
	Alimentation	226 620	85	74
	Reproduction	149 159	50	98
70 m ³ /s	Chenal	1 296 260	-	-
	Milieux annexes	168 347	66	-
	Alimentation	138 846	58	151
	Reproduction	85 416	24	371

Tableau VI : Métriques de composition et de configuration calculées pour les milieux et les habitats vitaux des barbeaux et hotus dans le secteur naturel pour deux débits.

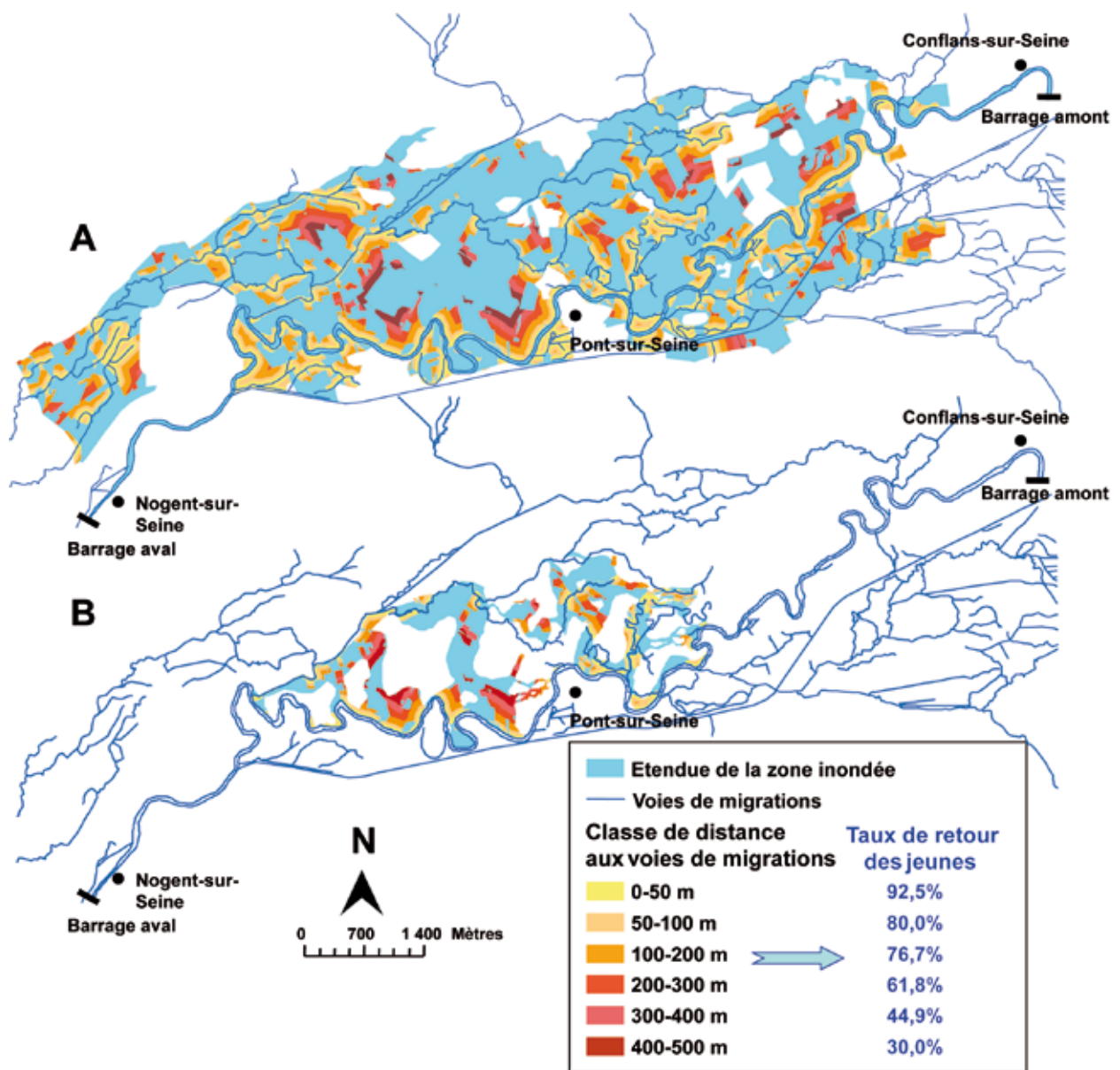


Figure 20 : Localisation des frayères à brochets potentielles dans un secteur naturel de la plaine de la Bassée en fonction de leur distance à une voie de migration pour (A) un débit de 288 m³/s et (B) un débit de 160 m³/s. Le taux de réussite du retour des jeunes est mentionné pour chaque classe de distance à une voie de migration et sert dans le calcul de la surface utile de frayères.

L'ensemble du bassin de la Seine abrite aujourd'hui 52 espèces de poissons d'eau douce.

Cette faune piscicole résulte de différents processus naturels, et notamment d'événements climatiques anciens. Elle est naturellement pauvre en comparaison avec celles d'autres fleuves européens tels que le Rhin ou le Danube. Elle est également le résultat de l'histoire des activités humaines développées dans le bassin de la Seine.

À partir du Moyen Âge, l'influence de l'homme sur les cours d'eau s'amplifie et retentit sur les organismes aquatiques.

À la fin du XX^e siècle, 23 espèces nouvelles sont recensées dans la faune piscicole du bassin de la Seine, issues d'actions directes (introductions volontaires) ou indirectes (modifications des milieux aquatiques) de l'homme.

Durant la même période, 7 espèces migratrices sur les 10 originellement présentes ont disparu du bassin en raison de l'implantation d'obstacles sur les principaux cours d'eau, associée à l'impact croissant de rejets polluants.

À partir des années 1970, d'importants efforts de dépollution vont être consentis pour limiter les rejets polluants et, en conséquence, améliorer la qualité physicochimique des eaux.

Ainsi, les espèces de poissons les plus sensibles peuvent reconquérir progressivement des secteurs entiers de cours d'eau qu'elles avaient délaissés suite à un niveau de pollution excessif. L'agglomération parisienne est très représentative de ce phénomène, car depuis 1995, le nombre d'espèces peuplant la Seine augmente, en réponse à l'amélioration de la collecte et du traitement des rejets d'eaux usées.

Les espèces de poissons se répartissent différemment dans le bassin de la Seine. Pour comprendre les facteurs naturels qui contrôlent cette répartition, il faut développer des approches à plusieurs échelles, depuis l'échelle globale du bassin dans son ensemble jusqu'à l'échelle locale de la station en passant par l'échelle d'un secteur de cours d'eau.

À l'échelle globale, la répartition des espèces évolue selon l'axe longitudinal. En réponse aux changements d'habitats, le nombre d'espèces augmente vers l'aval des cours d'eau. La composition des peuplements de poissons varie également selon cet axe, des espèces différentes se succédant et se remplaçant.

À cette structuration longitudinale s'associe une structuration régionale des peuplements de poissons. La nature géologique des terrains traversés par les cours d'eau les façonne, entraînant leur différenciation régionale. Les peuplements de poissons répondent naturellement à cette différenciation régionale par une variation de leur richesse et de leur composition en espèces.

Toutefois, ce schéma naturel d'organisation des peuplements à l'échelle des bassins n'est que partiellement respecté sur la Seine : les peuplements de poissons les plus diversifiés sont rencontrés dans la partie moyenne du fleuve, et non pas à l'aval, à cause de l'anthropisation excessive dans les secteurs aval des grands cours d'eau.

À une échelle plus restreinte, telle l'échelle de secteurs de cours d'eau, d'autres paramètres d'habitats influencent la distribution des espèces de poissons. En effet, les espèces de poissons doivent pouvoir non seulement trouver les habitats vitaux (alimentation, reproduction et repos) mais aussi y accéder librement.

Une démarche originale d'analyse spatiale de la structure des habitats aquatiques, dans un secteur de la plaine alluviale de la Seine, a permis d'évaluer l'influence de la distribution spatiale des habitats et de leur connectivité sur les peuplements locaux de poissons.

Notamment, une approche comparative entre un secteur naturel et un secteur aménagé pour la navigation a mis en évidence les effets négatifs de l'anthropisation : dans le secteur aménagé, la diminution de la diversité et de la quantité des habitats vitaux, consécutive aux aménagements, est défavorable à plusieurs espèces de poissons.

Un travail plus spécifique a été mené dans les zones humides périfluviales de la Seine. Ces zones humides sont des milieux importants pour la reproduction des poissons et leur diversité conditionne le maintien naturel de la biodiversité piscicole.

Les paramètres d'habitats locaux liés à la morphologie de ces milieux sont importants, tout comme leur connectivité avec les milieux aquatiques environnants.

Les aménagements de la Seine ont eu pour conséquence la disparition de ces zones humides naturelles, au profit de milieux artificiels, créés par l'homme, tels que les carrières en eau.

Vis-à-vis des espèces de poissons, et notamment concernant leur reproduction, ces milieux artificiels ne se substituent pas aux milieux naturels détruits.

Pour une espèce comme le brochet, qui affectionne les prairies inondées pour sa reproduction printanière, l'aménagement de la Seine pour la navigation signifie la diminution drastique, voire la disparition de son habitat de reproduction.

Les peuplements de poissons de la Seine sont donc fortement marqués par l'influence de l'homme.

Le développement des connaissances concernant les facteurs qui régissent leur répartition dans les cours d'eau et les effets des actions anthropiques s'est accompagné de l'élaboration d'outils.

Qu'il s'agisse de modèles de répartition des espèces à l'échelle du bassin de la Seine, ou de logiciel d'évaluation de la connectivité dans les cours d'eau, ces outils sont destinés à pouvoir généraliser les résultats des travaux menés, dans un souci d'aide à la gestion des milieux aquatiques.

Cependant, si les effets de certains types de pressions anthropiques sont aujourd'hui clairement identifiés (pollutions organiques, chenalisation des cours d'eau...), d'autres sont en revanche encore largement méconnus. C'est le cas par exemple des conséquences de la fragmentation des cours d'eau ou des effets à long terme de la gestion des débits sur la pérennité des populations piscicoles.

À court terme, la poursuite de ces travaux de recherche nécessite donc d'améliorer les connaissances concernant les différents types de pressions anthropiques et de leurs impacts écologiques.

Il s'agit de mieux connaître également les effets des interactions : les cours d'eau du bassin sont en effet généralement l'objet de pressions anthropiques multiples, n'agissant pas de manière indépendante.

Mais le véritable enjeu des recherches à venir consiste sans doute à définir les bases scientifiques des futurs outils de gestion et de restauration des cours d'eau.

La mise en œuvre de la directive cadre européenne sur l'eau et son objectif d'atteinte du bon état écologique impliquent en effet d'être en mesure de définir les

actions de restauration pertinentes, de hiérarchiser leur efficacité, d'identifier la meilleure échelle spatiale de mise en œuvre. Or, les réponses à ces questions restent aujourd'hui encore largement ouvertes, en particulier en ce qui concerne la restauration des communautés vivantes et de poissons.

À cet égard, une meilleure caractérisation géomorphologique des cours d'eau du bassin apparaît comme un préalable essentiel.

Toutefois, répondre à ces questions ne peut se concevoir sans tenir compte des évolutions probables des conditions climatiques et des activités humaines dans les décennies à venir.

Identifier les espèces les plus pénalisées par les futures modifications du climat et des pressions anthropiques ou, au contraire, celles susceptibles d'étendre leur aire de répartition, voire même les espèces nouvelles susceptibles de s'implanter sur le bassin, est essentiel pour définir une gestion efficace sur le long terme.

Bibliographie

Belliard J. (2001). Historique du peuplement de poissons dans la Seine. *Eaux libres*, 30 : 34-45.

Berrebi-dit-Thomas R., Boët P. & Tales E. (2001), Macrohabitat characteristics influencing young-of-the-year fish assemblages in connected lentic backwaters in the Seine River (France). *Arch. Hydrobiol.*, 135 (2-4), 119-135.

Boët P. (2000). Fonctions des zones humides pour les poissons. p. 245-259, in : E. Fustec & J.-C. Lefevre (Eds), *Les fonctions et la valeur des zones humides*, Technique et Ingénierie, série Environnement, Dunod, Paris.

Boët P. (2002). *Des poissons, un fleuve et des hommes : approche piscicole du fonctionnement d'un écosystème fluvial sous pression, la Seine*. Mémoire de HDR, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, 60p.+annexes.

Le Pichon C., Gorges G., Boët P., Baudry J., Goreaud F et Faure T. (2006) A spatially explicit resource-based approach for managing stream fishes in riverscapes. *Environmental Management*, 37(3) : 3322-3335.

Le Pichon C. (2006) *Une approche « paysage aquatique » pour une meilleure connaissance du fonctionnement des écosystèmes fluviaux et l'amélioration de la conservation des peuplements de poissons*. Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, Paris, 180 p.+annexes.

Tales E. & Berrebi R. (2007) Controls of local young-of-the-year (YOY) fish species richness in floodplain water bodies : potential effects of habitat heterogeneity, productivity and colonisation- extinction events. *Ecology of Freshwater Fish*, 16(2) : 144-154.

Glossaire

Anthropisation : Processus de transformation qui résulte de l'action de l'homme.

Aquacole : Relatif à l'aquaculture.

Bassin versant : Territoire associé à une rivière et regroupant tous les terrains sur lesquels ruissellent, s'infiltrent et courent toutes les eaux qui alimentent cette rivière.

Bruitées : Un jeu de données est dit « bruité » si l'information que l'on cherche à expliquer est couverte par des fluctuations plus ou moins aléatoires, par exemple la tendance du changement climatique dans l'ensemble des variations interannuelles météorologiques.

Complémentation : La complémentation est une relation spatiale entre deux types de ressources qui ne peuvent pas se substituer l'une à l'autre.

Exemple : Pour accomplir son cycle de vie, un poisson a besoin d'habitats de reproduction, d'alimentation et de repos. Ces habitats sont complémentaires. Leur complémentation caractérise la manière dont ils sont distribués spatialement dans le cours d'eau.

Dépressions de convexité : Type de milieu périfluvial dont l'apparition est liée aux déplacements latéraux du lit mineur d'un cours d'eau. Un cours d'eau a naturellement tendance à creuser la partie convexe des méandres de manière asymétrique, entraînant des processus locaux d'érosion et de dépôts solides. Le cours d'eau rééquilibre son tracé naturel par déplacement latéral et délaisse la partie convexe des méandres : ce sont des dépressions de convexité.

Gradient de connectivité : Variations de l'intensité des échanges entre différents milieux (connexions hydriques mais aussi échanges d'individus).

Groupe fonctionnel d'espèces (ou guildes) : Désigne un groupe d'espèces écologiquement voisines et partageant des habitats communs pour accomplir une fonction vitale (ex. : guildes de reproduction, guildes trophiques).

Halieutique : Tout ce qui se rapporte à l'activité de la pêche.

Limnophilie : Qualifie les espèces qui affectionnent les faibles vitesses de courant.

Lithophile : Se dit d'une espèce de poisson sélectionnant un support minéral pour déposer sa ponte.

Longévives : Se dit des espèces à longue durée de vie.

Médiane : En statistique, valeur centrale d'un paramètre qui sépare un échantillon ou une population en deux parties égales. Chaque partie contient le même nombre de valeurs. Contrairement à la moyenne arithmétique, la valeur médiane permet d'atténuer l'influence perturbatrice des valeurs extrêmes. Par exemple, pour la série de nombre : 1, 2, 3, 4, 50 : la médiane est 3 (il y a autant de valeurs supérieures à 3 que d'inférieures) et la moyenne, 12.

Métrique : Synonyme de critère quantitatif mesurable.

Phytophile : Se dit d'une espèce de poisson sélectionnant un support végétal pour déposer sa ponte.

Recrutement : Correspond au passage des individus d'une espèce entre les différentes phases de vie : de la phase larvaire à la phase juvénile, puis à la phase adulte (arrivée à la maturité sexuelle). C'est un indicateur de réussite de la reproduction des espèces.

Rhéophilie : Qualifie les espèces qui affectionnent les fortes vitesses de courant.

Station : Site d'étude ou de mesure.

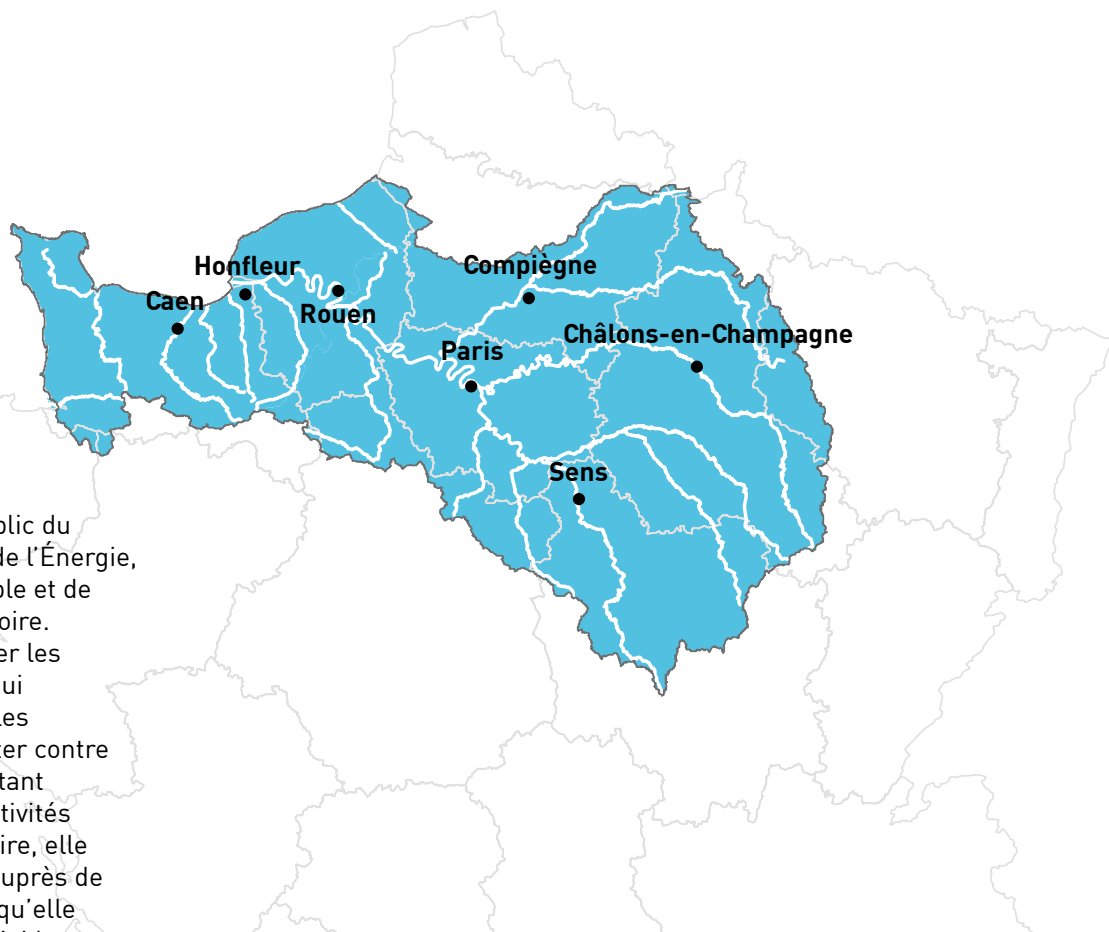
Strahler (rang ou ordre) : Méthode de classification des cours d'eau selon l'évolution de leur taille liée aux confluences. Un cours d'eau sans affluent est d'ordre 1, deux cours d'eau d'ordre 1 qui confluent forment un cours d'eau d'ordre 2. Plus généralement, de la confluence de deux cours d'eau de même ordre résulte un cours d'eau d'ordre supérieur. En revanche, un cours d'eau d'ordre 2 qui reçoit un affluent d'ordre 1 ne change pas d'ordre.

Structure trophique : Désigne l'ensemble des compartiments d'un peuplement constitués par diverses catégories regroupant les organismes vivants selon leurs régimes alimentaires (ex. : invertivores, piscivores, herbivores, etc).

Tache d'habitat : Caractérise une surface d'habitat aquatique qui correspond aux préférences d'habitat d'une espèce ou d'un groupe d'espèces. Elle résulte en général de la combinaison de différents paramètres d'habitats (ex. : combinaison entre la hauteur d'eau, la vitesse de courant et la nature du substrat pour définir une tache d'habitat de reproduction).



**eau
seine**
NORMANDIE



L'Agence de l'eau Seine-Normandie

est un établissement public du ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire. Sa mission est de financer les ouvrages et les actions qui contribuent à préserver les ressources en eau et lutter contre les pollutions, en respectant le développement des activités économiques. Pour ce faire, elle perçoit des redevances auprès de l'ensemble des usagers qu'elle redistribue sous forme d'aides financières aux collectivités locales, aux industriels, aux artisans, aux agriculteurs et aux associations qui entreprennent des actions de protection du milieu naturel. Ses actions s'expriment à travers un programme pluriannuel. Les études et recherches pilotées par l'Agence contribuent à la gestion équilibrée de la ressource en eau et de tous les milieux aquatiques.

Siège

51, rue Salvador Allende
92027 Nanterre Cedex
Tél. 01 41 20 16 00
Fax 01 41 20 16 09

www.eau-seine-normandie.fr

Programme PIREN-Seine

Direction et secrétariat :
UMR CNRS 7619 Sisyphe
Université Pierre et Marie Curie (Paris VI)
4, place Jussieu 75005 Paris
Tél. 01 44 27 74 24
Fax 01 44 27 45 88

www.piren-seine.fr

Les PARTENAIRES du PIREN-Seine

AGENCE DE L'EAU SEINE-
NORMANDIE (AESN)
www.eau-seine-normandie.fr

CENTRE NATIONAL DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE (CNRS)
www.cnrs.fr

DIRECTION RÉGIONALE DE
L'ENVIRONNEMENT
(DIREN ÎLE-DE-FRANCE)
www.ile-de-france.ecologie.gouv.fr

EAU DE PARIS
www.eaudeparis.fr

INTERNATIONAL ZINC ASSOCIATION
(IZA)
www.iza.com

LYONNAISE DES EAUX
www.lyonnaise-des-eaux.fr

LES GRANDS LACS DE SEINE :
INSTITUTION INTERDÉPARTEMENTALE
DES BARRAGES-RÉSERVOIRS DU
BASSIN DE LA SEINE (IIBRBS)
www.iibrbs.fr

SYNDICAT DES EAUX
D'ÎLE-DE-FRANCE (SEDIF)
www.sedif.com

SYNDICAT INTERDÉPARTEMENTAL
POUR L'ASSAINISSEMENT DE
L'AGGLOMÉRATION PARISIENNE
(SIAAP)
www.siaap.fr

UNION NATIONALE DES PRODUCTEURS
DE GRANULATS (UNPG)
www.unicem.fr

VOIES NAVIGABLES DE FRANCE
(VNF)
www.vnf.fr

ENSEMBLE
DONNONS
VIE À L'EAU

Agence de l'eau

Numéro ISBN : 978-2-918251-03-3
Dépôt légal : janvier 2009

