

Partenariat 2012 – Mise au point d'un indicateur poisson IPR+ – Action 37

# Programme IPR+

## *Révision de l'indice poisson rivière pour l'application de la DCE*

*Version V.2.0 de l'indicateur*

*Didier PONT, Olivier DELAIGUE, Jérôme BELLIARD,  
Anahita MARZIN & Maxime LOGEZ*

*Février 2013*

**IRSTEA**

Unité de recherche *Hydrosystèmes et Bioprocédés*  
1 rue Pierre-Gilles de Gennes  
CS 10030  
92761 ANTONY CEDEX

## Contexte de programmation et de réalisation

---

### Les auteurs

---

*Didier Pont*  
*didier.pont@irstea.fr*  
*IRSTEA d'Antony – UR HBAN*

*Olivier Delaigue*  
*olivier.delaigue@irstea.fr*  
*IRSTEA d'Antony – UR HBAN*

*Jérôme Belliard*  
*jerome.belliard@irstea.fr*  
*IRSTEA d'Antony – UR HBAN*

*Anahita Marzin*  
*anahita.marzin@irstea.fr*  
*IRSTEA d'Antony – UR HBAN*

*Maxime Logez*  
*maxime.logez@irstea.fr*  
*IRSTEA d'Antony – UR HBAN*

### Les correspondants

---

ONEMA : *Yorick Reyjol, DAST, yorick.reyjol@onema.fr*  
Référence du document :

IRSTEA : *Didier Pont, UR HBAN, didier.pont@irstea.fr*  
Référence du document :

<b>Droits d'usage :</b>	<i>Restreint</i>
<b>Couverture géographique :</b>	<i>France</i>
<b>Niveau géographique :</b>	<i>National</i>
<b>Niveau de lecture :</b>	<i>Experts</i>
<b>Nature de la ressource :</b>	<i>Document</i>

## Résumé du rapport

Le développement du nouveau bioindicateur poissons pour les cours d'eau français, proposé dans ce rapport, a recours à une méthode ayant été mise en œuvre dans l'élaboration du premier indice poisson rivière français (IPR) (Oberdorff *et al.*, 2001 ; Oberdorff *et al.*, 2002) et améliorée par la suite au niveau européen (Pont *et al.* 2006 ; Pont *et al.* 2007) à l'occasion de deux projets de recherche successifs (FAME, 5<sup>e</sup> PCRD et EFI+, 6<sup>e</sup> PCRD). Cette méthode a également été récemment testée sur les cours d'eau de l'ouest des États-Unis (Pont *et al.* 2009).

La première étape de ce travail est la création d'une base de données de taille importante : près de 2 000 sites renseignés à la fois sur leurs caractéristiques environnementales locales (taille du bassin drainé, climat, pente du cours d'eau, géologie, etc.), sur l'intensité des différents types de pressions anthropiques (pollution organique, eutrophisation, altération du débit et de l'écoulement, modifications des caractéristiques géomorphologiques de la section, du chenal et du substrat, de la connectivité entre le site et le réseau hydrographique dans son ensemble, etc.) et sur une description quantitative du peuplement piscicole basé sur un échantillonnage du site (richesse spécifique et abondance des taxons, taille des individus capturés).

La deuxième étape est la compilation des informations relatives aux traits biologiques et écologiques caractéristiques des différentes espèces (67 espèces pour 37 traits bio-écologiques), ceci afin de calculer les métriques candidates à la modélisation. Ces dernières peuvent être exprimées en différentes unités absolues (richesse, abondance, biomasse) ou relatives. Un total de 228 métriques fonctionnelles candidates ont ainsi été testées.

La troisième étape est la sélection des sites dits de « référence » ou plus exactement dont le niveau de perturbation est considéré comme ne modifiant pas de façon significative le peuplement en place. Dans notre cas, nous avons suivi une démarche se rattachant à celle connue sous le nom de MDC : *Minimally Disturbed Condition* (Stoddart *et al.*, 2006). Cette sélection de sites est utilisée pour transformer en EQR les valeurs des métriques et de l'indicateur final.

Les sites utilisés pour calibrer les modèles sont sélectionnés sur la base de l'examen de leurs caractéristiques physiques et chimiques. Afin d'avoir une bonne représentativité de l'ensemble des cours d'eau au cours du processus de modélisation, nous avons opté pour la sélection d'un jeu de « calibration » présentant des critères de sélection différenciés selon les zones amont-aval (zonation de Huet (1954)). Ainsi, les sites des zones les plus aval retenus dans le jeu de « calibration », présentent-ils, pour certains, des niveaux de perturbations plus élevés alors que les sites en zone à truite ne doivent présenter aucune perturbation (critère plus strict que le jeu de données de « référence » pour cette zone).

En complément, des indices de pressions synthétiques sont établis au niveau global ainsi que par type de cours d'eau afin de définir des gradients de pressions sur l'ensemble du jeu de données. La modélisation des métriques candidates en fonction des conditions environnementales s'effectue alors sur le jeu de données de sites de « calibration » en recourant à des méthodes statistiques de type GLM. Selon la nature des métriques (richesse, abondance, densité, biomasse, valeurs relatives), on a recours à différentes familles de distribution (gaussienne, binomiale, etc.).

### Sélection des métriques

La sélection des métriques se fait sur la base de différents critères :

- qualité des modèles obtenus ;
- représentativité des métriques dans les différentes zones ;
- sélection des métriques les plus sensibles aux pressions par zone de Huet, pour l'indicateur synthétique de pressions et pour chacune des pressions prises individuellement.

Les métriques candidates sont modélisées en fonction de facteurs environnementaux peu ou non influencés par les perturbations anthropiques. Une première sélection est effectuée sur la base de la qualité statistique des modèles. Les métriques restantes sont ensuite sélectionnées en fonction de

leur sensibilité aux pressions par type de cours d'eau, selon la zonation de Huet (zones à truite, ombre, barbeau et brème). La sensibilité est examinée pour chacune des pressions considérées comme importantes (qualité de l'eau, modifications hydrologiques, altérations morphologiques), ceci afin de capturer l'ensemble des réponses des peuplements aux différentes altérations et dans les différents types de cours d'eau. Enfin, les métriques présentant une trop forte redondance sont éliminées.

La sélection des métriques s'opère toujours par zone (truite, ombre, barbeau, brème) et par type de pression dans toutes les versions de l'indicateur. Par contre, leur nombre et leur mode de prise en compte dans l'indicateur final diffèrent selon les versions successives.

Dans la version initiale V.0, 5 à 8 métriques sont retenues selon la zone considérée. Cette approche supposait une grande fiabilité dans la définition de la zone et la capacité de définir cette zone de façon standardisée à l'échelle nationale par les experts ou de la modéliser. Il est apparu que cette définition posait problème et était toujours entachée d'une incertitude forte. De ce fait, une liste unique de 10 métriques fonctionnelles communes aux 4 zones a été retenue dans les versions suivantes de l'indicateur.

Dès la version V.0, et pour un site donné, le choix a été fait de ne calculer l'indicateur IPR+ qu'en sélectionnant les métriques les plus sensibles parmi les métriques sélectionnées, soit les métriques présentant les scores les plus faibles pour le site considéré. Ce choix permet d'accroître la sensibilité de l'indicateur aux différents types de pression, et en particulier les pressions hydromorphologiques. Il permet aussi, dans la version finale, de palier au fait que la même liste de métrique est retenue pour toutes les zones. La sensibilité des métriques étant différente suivant les zones, certaines d'entre elles ne seront que peu affectées par les pressions dans les zones où cette sensibilité est faible. Dès lors, elles conserveront toujours dans ces situations un score élevé. En ne retenant dans l'indicateur IPR+ final que les métriques présentant les scores les plus faibles, on évite une surestimation de l'état écologique du site.

Une même métrique, peut présenter des sens et des intensités de réponse différentes selon les pressions et les zones : réponses positive, négative, voir bilatérale. Pour plus de sûreté, les métriques sont toujours considérées comme présentant une réponse bilatérale. Une transformation est alors effectuée afin que l'ensemble des métriques présente une réponse négative (décroissante) à un accroissement d'une ou de plusieurs pressions.

En complément des 10 métriques fonctionnelles et afin d'améliorer la sensibilité de l'indicateur dans les zones de faible richesse (zones à truite et à ombre), une métrique basée sur l'abondance des juvéniles de truite de l'année (0+) a été mise au point. Pour chaque site et chaque date, la taille maximale possible des 0+ est d'abord évaluée à l'aide d'un modèle (en fonction de l'environnement). Puis le nombre de truites 0+ pêchées est calculé par examen de la distribution des tailles des truites capturées lors de la pêche. Une approche similaire aux autres métriques fonctionnelles a ensuite été utilisée pour calculer l'abondance prédite de truite 0+ en l'absence de perturbation.

La métrique retenue n'est applicable que dans les zones à truite et à ombre entre le 1<sup>er</sup> avril et la fin de l'année. Cette métrique a été sélectionnée parmi un ensemble de 6 métriques se rapportant aux individus truite 0+ (abondances et biomasses relatives et absolues, etc.).

Toutes les métriques sont ensuite standardisées et transformées en EQR (division par la médiane des sites de « référence ») de sorte :

- qu'elles varient entre 0 et 1 ;
- que la valeur médiane des sites de « référence » soit égale à 0,80.

La version V.1.2 comporte donc 10 à 11 métriques selon les zones.

### **Méthode d'agrégation des métriques**

Afin d'accroître la sensibilité de l'indicateur à des pressions détectées par seulement quelques unes des métriques retenues, les 2 métriques d'abondance et les 4 métriques de richesse présentant les plus fortes décroissances, pour un site donné, sont finalement retenues. Ainsi, et pour les 4 zones considérées, l'indicateur final ne comportera-t-il toujours que 6 métriques. Ces métriques seront différentes selon les sites.

La standardisation préalablement appliquée aux métriques assure la comparabilité des résultats entre sites, chaque métrique rendant compte de façon similaire d'un écart à l'état de « référence ».

Par rapport à la version V.1.2, la version V.1.3 n'apporte que des modifications mineures relative à la prise en compte des espèces rares et des dates d'application de la métrique classe de taille « triute ».

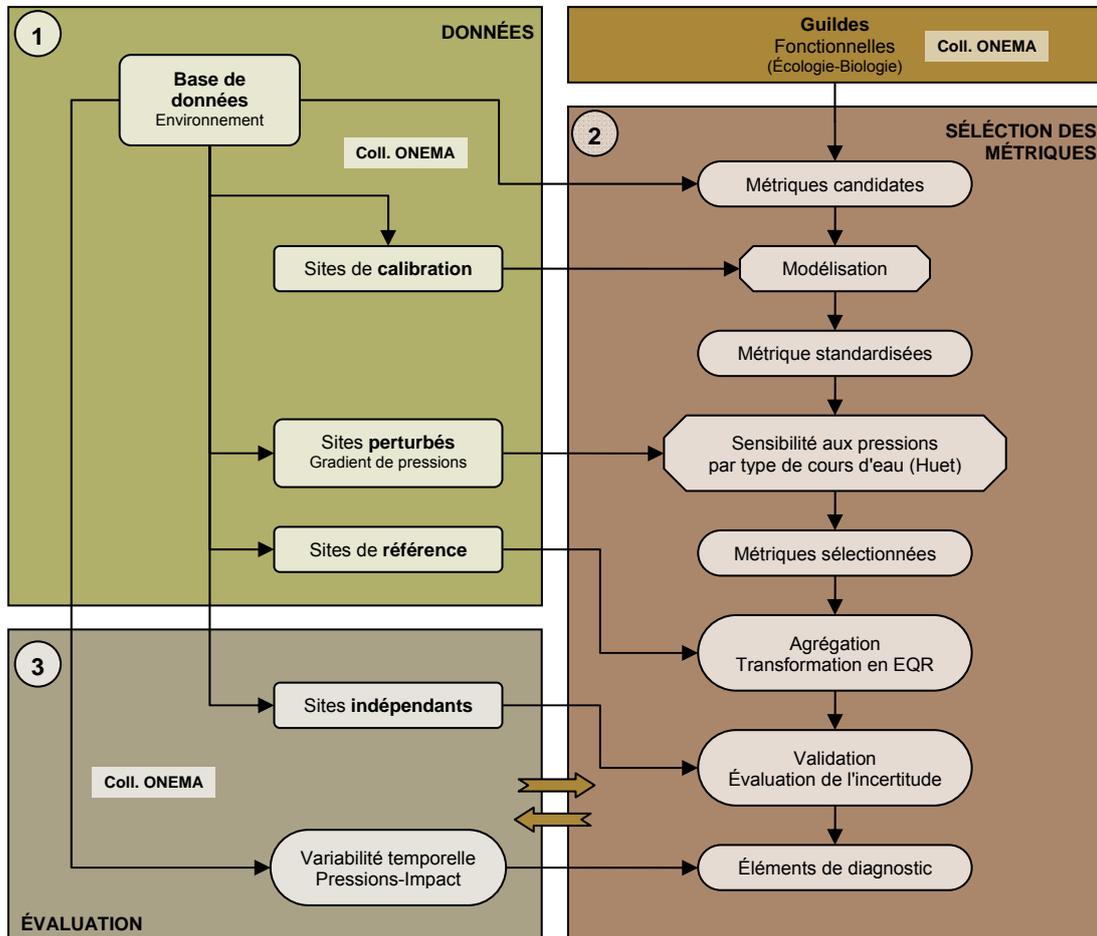


Schéma synoptique du processus de construction de l'IPR+.

### Calcul de l'incertitude (Version 2.0)

Afin de pouvoir calculer une incertitude autour des métriques précédemment sélectionnées, les modèles ont été implémentés dans un cadre bayésien. Ceci a permis d'associer à chaque valeur de métrique une incertitude (écart-type). De même, pour l'IPR+, on obtient une distribution de 10 000 valeurs. La valeur de l'IPR+ est la moyenne de cette distribution et son incertitude peut être quantifiée par l'écart-type de cette distribution.

Les bornes de la version V.2.0 de l'IPR+ ont été harmonisées à l'échelle européenne en suivant la procédure d'intercalibration européenne (Working Group Ecostat, 2009 ; Willby, Birk & Bonne, 2010) du groupe « poisson rivière » (Pont *et al.*, 2011).

Au finale, la méthode fournit une valeur de l'indicateur IPR+, la classe dans laquelle cette valeur se situe et la probabilité d'appartenance de l'indicateur à chacune des 5 classes de qualité écologique.

### Calcul des bornes de classes de qualité et intercalibration

Les bornes des classes de qualité « 1-très bon état » et « 2-bon état » doivent répondre à des exigences européennes exprimées dans la cadre du processus d'intercalibration. Ce dernier vise à

s'assurer que les critères de classement des sites en « bon état »/« très bon état » sont comparables d'un état à l'autre (Working Group Ecostat, 2009 ; Willby *et al.*, 2010).

L'option 2, recourant à des métriques communes, avait été retenue pour le groupe « Lowland-Midland » qui couvre l'essentiel du territoire français (Pont *et al.*, 2011). Le précédent indicateur français (IPR) a été intégré dans cet exercice. Au final, toutes les bornes des indicateurs nationaux doivent se situer à l'intérieur d'un intervalle de variabilité établi à l'occasion de cet exercice. Les méthodes proposées postérieurement à l'exercice d'intercalibration doivent impérativement se plier à cette contrainte, sans remise en cause de cet intervalle.

Dans la mesure où les bornes des classes 1 et 2 du nouvel indicateur doivent répondre à ces critères européens, nous avons choisi de les définir en tenant compte directement des contraintes imposées par l'exercice d'intercalibration. L'exercice a donc été ré-exécuté en intégrant l'IPR+ et en utilisant le même jeu de données que celui utilisé lors de l'intercalibration.

Pour les bornes entre les classes 1-2 et 2-3, nous avons effectué l'intercalibration en cherchant à définir la plage de valeurs des bornes acceptables du point de vue de ces normes européennes. Nous proposons ci-dessous 2 gammes de bornes pour les 5 classes de l'IPR+ :

- la première retient, pour la limite de classes 1-2, la valeur la plus basse possible par rapport à l'intervalle d'intercalibration européen (Bornes min.) ;
- la seconde correspond au choix de la valeur médiane de l'intervalle d'intercalibration, c'est-à-dire une position optimale en termes de comparabilité par rapport aux autres méthodes utilisées en Europe (Bornes med.).

État écologique	Bornes min.	Bornes med.
1-Très bon	]0.875 ; 1.000]	]0.890 ; 1.000]
2-Bon	]0.640 ; 0.875]	]0.740 ; 0.890]
3-Moyen	]0.427 ; 0.640]	]0.493 ; 0.740]
4-Médiocre	]0.213 ; 0.427]	]0.247 ; 0.493]
5-Mauvais	]0.000 ; 0.213]	]0.000 ; 0.247]

À la différence des bornes délimitant les classes 1 et 2, la définition des bornes relatives aux classes 4 et 5 n'est pas soumise aux impératifs de l'intercalibration. Dans notre cas, nous avons opté pour des bornes permettant aux classes 3, 4 et 5 d'avoir des amplitudes égales.

Il faut noter qu'en l'absence de méthodologie il n'a pas été possible d'effectuer l'intercalibration dans le groupe « Alpine-type Mountains » du fait du recours à l'option 3 pour l'harmonisation. Cette option nécessite de recalculer l'indicateur sur l'ensemble des sites (français et étrangers) du groupe d'intercalibration. De plus, aucune méthodologie n'a été proposée et validée au niveau européen afin de traiter du cas de modification ou d'ajout d'une nouvelle méthode nationale lorsque l'intercalibration est réalisée au moyen de l'option 3 (ou l'on compare chaque méthode avec une pseudo-métrique commune égale à la moyenne des autres méthodes ; ce qui rend l'itération de l'exercice difficile quand des méthodes sont modifiées ou ajoutées).

Dans un premier temps, les bornes appliquées à l'ensemble du territoire français sont celles obtenues pour le groupe « Lowland-Midland ».

### Métrique basée sur les espèces migratrices amphihalines

Une métrique basée sur les espèces migratrices est développée en lien avec le nouvel indicateur poisson. Il s'agit d'une métrique qui cible spécifiquement les espèces migratrices amphihalines. Elle constitue un moyen efficace d'évaluer les problèmes de continuité à l'intérieur du réseau hydrographique ; cet aspect, explicitement cité dans le texte de la DCE (Parlement européen & Conseil européen, 2000), étant à l'heure actuelle mal pris en compte par les outils de bio-indication existants.

La construction de la métrique consiste à comparer, pour un site ou un tronçon de cours d'eau donné, la liste des espèces migratrices actuellement présentes à celle des espèces présentes en situation de référence établie en particulier à partir des données historiques (Belliard *et al.* 2010)

L'ensemble des types de cours d'eau sont potentiellement concernés, exception faite des zones aval proches des embouchures pour lesquelles la proportion d'espèces de type estuarienne est élevée.

Toutefois, par principe, l'usage de la métrique « migrants » se limite à la partie du réseau hydrographique occupée historiquement par au moins une espèce de grands migrants.

La métrique « migrants » a été élaborée à partir du jeu de données de stations réparties sur l'ensemble de la France métropolitaine et de la Corse (1 682 stations de 1998 à 2007) — étudiées dans le cadre du développement de l'IPR+ — et qui ont fait l'objet d'une évaluation concernant (1) la situation actuelle et passée des espèces migratrices et (2) l'importance des pressions touchant à la continuité.

La forme de la métrique qui s'est révélée la plus pertinente est basée sur un calcul simple correspondant au ratio entre nombre d'espèces actuelles et nombre d'espèces potentielles :

La métrique est calculée sur la base des 7 espèces retenues précédemment dans les étapes de constitution et validation des données : lamproie marine, esturgeon européen, saumon atlantique, éperlan, grande alose, alose finte, flet.

Les valeurs de la métrique « migrants » sont distribuées entre 0 et 1. Cette métrique étant envisagée comme un outil complémentaire venant renforcer l'évaluation écologique fournie par l'IPR+, aucune classe de qualité ne lui est attachée.

Le calcul de la métrique « migrants » ne se limite pas à l'utilisation des données de pêches électriques réalisées dans le cadre des réseaux de suivis classiques mais intègre potentiellement toutes les sources de données fiables concernant la répartition continentale des espèces migratrices (captures, enquêtes, observations, suivis de passe à poissons...).

Le calcul en routine de la métrique suppose de disposer d'un référentiel définissant la composition spécifique de la communauté migratrice en situation de référence pour les cours d'eau français. Ce calcul suppose également de disposer de données régulièrement mises à jour sur la présence actuelle des espèces dans le réseau hydrographique.

# Présentation synthétique de l'indicateur IPR+ V.2.0

## Méthode d'échantillonnage

La méthode d'échantillonnage actuellement utilisée est basée sur la technique de la pêche électrique. Selon les types de cours d'eau et leurs tailles, ces pêches se réalisent à pied (profondeur faible) ou en bateau — dans ce dernier cas le plus souvent en suivant les rives. La station considérée pour l'échantillonnage couvre un espace suffisant pour être représentative des différents habitats présents dans le cours d'eau, soit une longueur égale à 10 à 20 fois la largeur mouillée. En fonction de la surface considérée (elle-même fonction de la taille du cours d'eau), l'échantillonnage de cette dernière couvrira la totalité de cette surface (pêche complète avec un seul passage) ou seulement une fraction. Dans ce dernier cas, l'effort de pêche se répartit au moins sur 75 placettes d'une surface d'attraction unitaire d'environ 12 m<sup>2</sup>. Cette méthode est conforme à la norme européenne EN14011 (2003).

## Espèces considérées dans le calcul de l'IPR+

Seuls les poissons sont considérés, y compris les lamproies. Par conséquent, les écrevisses ne sont pas prises en compte.

Les espèces exotiques ne se reproduisant pas ne sont pas retenues ni dans l'établissement des métriques candidates ni dans le calcul de la richesse totale : *Hypophthalmichthys molitrix* (CAR), *Ctenopharyngodon idella* (CTI), *Aristichthys nobilis* (CGT), *Pimephales promelas* (PIM), *Oncorhynchus mykiss* (TAC). Les individus qui les représentent sont, en revanche, comptabilisés dans les effectifs totaux, ceci afin de tenir compte de leur impact sur les abondances relatives des guildes retenues.

Les individus indéterminés tels que les hybrides brème-gardon (BRG), les hybrides de cyprinidés (HYC) et les juvéniles de cyprinidés (CYP) ne sont également pas pris en considération dans le calcul des métriques et des richesses totales. En revanche, ces individus rentrent dans le calcul des effectifs totaux pour le même motif que précédemment.

Par ailleurs, des regroupements d'espèces ont été réalisés. Cela concerne :

- les carpes (CCO, CCU et CMI) ;
- les carassins (CAS, CAG, CAD, CAA) ;
- les truites *Salmo trutta* (TRF, TRC, TRL et TRM) ;
- les aloses *Alosa fallax* (ALF et ALR) ;
- les gambusies *Gambusia affinis* (GAM) et *Gambusia holbrooki* (sans code).

En présence de l'une ou l'autre des espèces de lamproie (lamproie de planer : LPP, lamproie de rivière : LPR), les lamproies non déterminées (LPX) ne seront pas comptabilisées dans la richesse, En leur absence elles le seront.

Les espèces marines (*Dicentrarchus labrax* (LOU), *Dicentrarchus punctatus* (LOM) et *Pleuronectes platessa* (PLI)) et estuariennes (*Atherina boyeri* (ATB), *Atherina presbyter* (ATH), *Chelon labrosus* (MGL), *Liza aurata* (MUD), *Liza ramada* (MUP), *Liza saliens*, *Mugil cephalus* (MUC), *Pomatoschistus microps*, *Pomatoschistus minutus* (GOB)) ne sont pas prises en compte dans les guildes « fonctionnelles ». Lorsque ces espèces sont présentes dans l'échantillon, elles ne seront pas considérées dans les calculs de métriques basées sur la richesse, ni dans la richesse totale, mais leurs individus seront considérés dans le calcul de l'effectif total. À l'avenir, il y aura donc lieu de définir une proportion maximale d'espèce estuaro-marines au delà de laquelle l'IPR+ ne pourra plus s'appliquer.

## Cas des espèces rares

Afin de palier au poids trop grand alloué aux espèces rares, leur influence sur le calcul des métriques a été limitée en appliquant les règles suivantes.

- Lorsque l'effectif total d'une pêche est inférieur à 200 individus, les espèces représentées par un individu unique ne sont pas considérées.
- Lorsque l'effectif pêché est supérieur ou égal à 200 poissons, on ne considère pas les espèces dont l'effectif est inférieur à 3 individus.

## Description des données nécessaires au calcul de l'indicateur

Pour chaque opération de pêche, les informations nécessaires pour le calcul de l'indicateur sont :

- l'abondance des différentes espèces piscicoles dans l'échantillon prélevé ;
- les tailles des individus de l'espèce truite lorsque cette dernière est présente (en mm) ;
- les coordonnées de la station (en Lambert II étendu) ;
- le régime hydrologique (réduit à 3 modalités) ;
- la formation géologique dominante sur le bassin versant (calcaire, siliceux) ;
- le nom du bassin et son appartenance à un ensemble régional ;
- la surface du bassin versant amont (en km<sup>2</sup>) ;
- la pente du cours d'eau (en ‰) ;
- l'altitude de la station (en m) ;
- la largeur mouillée au moment de l'échantillonnage (en m) ;
- la stratégie d'échantillonnage (pêche partielle ou complète) ;
- la surface pêchée (en m<sup>2</sup>) ;
- la température moyenne interannuelle de l'air à la station sur une période de 10 ans précédant la date de pêche (en °C) ;
- l'amplitude thermique moyenne interannuelle de l'air à la station sur une période de 10 ans précédant la date de pêche (en °C) ;
- la température moyenne interannuelle de l'air à sur le BV amont sur une période de 10 ans précédant la date de pêche (en °C) ;
- les précipitations moyennes interannuelles sur le BV amont sur une période de 10 ans précédant la date de pêche (en mm).

L'ensemble des données climatiques (températures, précipitations) sont issues de la base de données Météo-France (modèles SAFRAN/France) et fournies par l'équipe des hydrologues du centre IRSTEA. Les valeurs nécessaires au calcul de l'indicateur pourront être mise à jour régulièrement.

Sur la base de ces valeurs, 6 descripteurs sont calculés et utilisés pour prédire les valeurs attendues des métriques en l'absence de perturbations :

- superficie du bassin versant drainé ;
- puissance hydraulique (produit de la pente par un run-off théorique basé sur la surface du bassin versant, les précipitations et température moyennes sur le bassin) ;
- température moyenne annuelle ;
- amplitude maximale de la température annuelle ;
- géologie dominante sur le BV amont ;
- régime hydrologique.

Ces 6 variables sont construites de manière à ce que leurs valeurs ne soient pas ou peu influencées par des modifications anthropiques du cours d'eau. Ainsi, le calcul de la puissance hydraulique fait-il intervenir un run-off uniquement basé sur les précipitations et l'évaporation à la place d'un débit mesuré à la station. De même, les températures considérées sont celles de l'air.

On peut également noter que la prise en compte de conditions climatiques dans la prédiction des valeurs attendues des métriques, en l'absence de perturbations anthropiques importantes, permettra de prendre en compte les changements climatiques et, au besoin, des modifications des états de « référence ».

La typologie de Huet est nécessaire pour définir la prise en compte de la métrique classe de tailles truite : cette dernière n'est appliquée que dans les zones à truite et à ombre. La zonation de Huet est calculée à partir d'un modèle basée sur le travail original de Huet (1954). Elle nécessite la connaissance de la pente du cours d'eau et de la largeur mouillée au moment de l'échantillonnage.

## Calcul de l'indicateur

### Métriques sélectionnées

On retient 10 métriques basées sur des caractéristiques fonctionnelles des peuplements (3 basées sur l'abondance relative et 7 sur la richesse) et 1 métrique basée sur l'abondance de juvéniles de truite :

- abondance « relative » (offset) des juvéniles de truites (zones à truite et ombre) ;
- abondance « relative » (offset) des espèces oxyphiles ;
- abondance « relative » (offset) des espèces habitat intolérantes ;
- abondance « relative » (offset) des espèces à habitat de reproduction lotique ;
- richesse absolue des espèces à tolérance générale ;
- richesse absolue des espèces sténothermes ;
- richesse absolue des espèces à habitat de reproduction lentique ;
- richesse absolue des espèces omnivores ;
- richesse « relative » (offset) des espèces à intolérance générale ;
- richesse « relative » (offset) des espèces oxyphiles ;
- richesse « relative » (offset) des espèces limnophiles.

Parmi les métriques de richesse, 4 métriques s'expriment en richesse absolue et 3 en richesse relative.

Les valeurs observées de ces métriques sont calculées à partir de l'échantillon pêché sur le site.

La modélisation des métriques en fonction des conditions environnementales (tableau ci-dessous) s'effectue en recourant à des modèles de type GLM dans un cadre bayésien.

Selon la nature des métriques (richesse, abondance, densité, biomasse, valeurs relatives), on a recours à différentes familles de distribution (gaussienne, binomiale, etc.).

*Valeurs moyennes des paramètres des modèles permettant le calcul des valeurs prédites des 11 métriques.*

Métrique	Intercept	IPOW	IPOW <sup>2</sup>	IBV_FINAL	IBV_FINAL <sup>2</sup>	TEMP_MEAN_STA_Y	TEMP_MEAN_STA_Y <sup>2</sup>	TEMP_AMPL_STA_Y	TEMP_AMPL_STA_Y <sup>2</sup>	GEOL1s	REG3_GVreg_pm	REG3_GVreg_pmg
abond.offset.truite.total	-9.301	0.428		1.067	-0.217			0.155				
abond.offset.EauO2.O2INTOL	-1.479	0.158		-0.032	-0.027							
abond.offset.HabGlob.HINTOL	1.676	0.213	0.002	-0.433	0.006	-0.063		-0.366	0.012	-0.215	0.252	0.078
abond.offset.HabRepro.RHPAR	-1.095	0.066		0.054	-0.017			0.024				
ric.brute.EauGeneral.TOL	4.992	-1.559	0.055	1.348	-0.063	0.062				-0.247	0.276	-0.003
ric.brute.EauTemp.STTHER	3.819			0.363	-0.041	0.641	-0.033	-0.899	0.029		0.145	-0.324
ric.brute.HabRepro.LIPAR	2.531	-1.958	0.065	1.43	-0.054			0.355	-0.005	-0.477	0.616	0.251
ric.brute.Troph.OMNI	-8.079	-1.139	0.040	1.472	-0.078	0.904	-0.037	0.562	-0.014			
ric.offset.EauGeneral.INTOL	2.206	0.175		-0.248		-0.045		-0.461	0.016			
ric.offset.EauO2.O2INTOL	-0.012	-0.325	0.025	0.094	-0.046	0.279	-0.016	-0.040				
ric.offset.Hab.LIMNO	-5.18	-1.751	0.057	1.55	-0.067			1.053	-0.030			

## Calcul des métriques et incertitudes associées

Le principe de calcul est le suivant :

- Pour chaque métrique, on modélise la valeur attendue en l'absence de perturbation (valeur prédite). Les descripteurs utilisés dans cette modélisation sont les 6 variables environnementales décrites précédemment. On s'intéresse ensuite à l'écart normalisé entre la valeur prédite et la valeur observée de la métrique (issue directement des données de la pêche).
- Les analyses des réponses des métriques aux différentes pressions ont montré que, dans plusieurs cas, les écarts à la valeur prédite pouvaient prendre une valeur positive ou négative en fonction de la pression considérée (réponse bilatérale). Aussi, une transformation est effectuée afin de rendre tous les écarts au modèle de même signe. Au final, la valeur de la métrique sera toujours proche de un en l'absence de perturbation et se rapprochera de zéro lorsque l'intensité des perturbations anthropiques augmente.
- La métrique est ensuite transformée en EQR en divisant sa valeur par la valeur médiane des sites de référence. La transformation en EQR prend également en compte le type de méthode de pêche (pêche complète ou pêche partielle) et la spécificité des sites corses. Les métriques sont finalement transformées afin de varier entre 0 à 1 et de sorte que la valeur médiane des sites de « référence » soit égale à 0,8.

Afin de pouvoir calculer une incertitude autour de ces métriques prédites en l'absence de perturbation, les modèles permettant de calculer ces valeurs ont été implémentés dans un cadre bayésien. De ce fait, on dispose non pas d'une seule valeur estimée des paramètres des modèles mais d'une distribution de 10 000 itérations de chacun de ces paramètres (densité de probabilité).

Conformément à la méthode exposée préalablement et pour chaque site, les densités de probabilité des paramètres des modèles sont estimées en utilisant les sites de référence. Puis, pour un site donné, ces modèles sont utilisés pour prédire les métriques en condition de référence (10 000 itérations par site). Les métriques sont ensuite transformées : mise à l'échelle entre 0 et 1, transformation en EQR, positionnement de la valeur médiane des sites de référence à 0,8.

Les notes des métriques sont décrites par la moyenne de leurs distributions (10 000 valeurs) et leur incertitude prédictive par l'écart type de ces distributions.

### Calcul de l'indicateur IPR+

L'agrégation en un seul indicateur se fait en retenant, sur un site donné, les métriques présentant les réponses les plus fortes (valeurs les plus basses), soit, au final, 2 des 3-4 métriques d'abondance (selon la zone) et 4 des 7 métriques de richesse.

L'indicateur est obtenu en sommant la moyenne des 2 métriques d'abondance et des 4 métriques de richesse, puis en divisant le résultat par 2. L'indicateur varie entre 0 et 1 et la valeur de 0,8 correspond à la valeur médiane des sites de « référence ».

Ce calcul est effectué pour chacune des 10 000 itérations. On obtient ainsi une distribution de valeurs de l'indicateur.

La note finale de l'IPR+ est la moyenne de ces 10 000 itérations et son incertitude est décrite par l'écart type des mêmes 10 000 itérations.

L'IPR+ peut être exprimé en classe de qualité en utilisant les bornes de classes obtenue après l'exercice d'intercalibration.

Enfin, en utilisant l'ensemble des 10 000 valeurs obtenues pour l'indicateur, on peut calculer la probabilité d'appartenance de l'IPR+ à chacune des cinq classes d'état écologique.

### **Adjonction d'une métrique « grands migrateurs »**

La valeur de la métrique « grands migrateurs » sera fournie de manière indépendante de l'IPR+ et permettra une évaluation de la connectivité à l'échelle du bassin à l'aval de la station (outil de diagnostic).

### **Développements ultérieurs prévus**

Il est prévu d'intégrer à la version actuelle de l'IPR+ des corrections préalable au calcul de la température de l'air au droit des stations afin de tenir compte de situations spécifiques du point de vue des relations entre températures de l'air et de l'eau :

- influence des apports en provenance des aquifères ;
- caractère nival du régime hydrologique.

Les limites d'utilisation de l'indicateur seront spécifiées dans le manuel utilisateur.

**Programme IPR+**

D. Pont, O. Delaigue, J. Belliard, A. Marzin & M. Logez

## Sommaire

1	Introduction et méthodologie générale .....	17
1.1	Présentation du projet .....	17
1.1.1	Indice d'intégrité biotique de Karr .....	17
1.1.2	Indices multimétriques prédictifs .....	18
1.2	Méthodologie .....	19
2	Base de données IPR+ .....	22
2.1	Structure générale des données .....	22
2.2	Données environnementales et pressions .....	23
2.2.1	Descriptions des tables .....	23
2.2.2	Tentative de modélisation de la zonation de Huet .....	36
2.2.3	Données manquantes .....	38
2.3	Données piscicoles .....	39
2.3.1	Traitement des lots .....	40
2.3.2	Standardisation des longueurs .....	42
2.3.3	Estimation des effectifs de juvéniles de truites .....	44
2.3.4	Estimation des biomasses individuelles .....	44
2.4	Constitution d'une « super-table » OPERATION .....	45
2.4.1	Tables EXPERTISE et MIGRATEUR .....	46
2.4.2	Table MACROPOLLUANTS .....	46
2.4.3	Jointure des données piscicoles .....	47
3	Élaboration des indices de pressions .....	48
3.1	Indice de pressions synthétique global .....	48
3.1.1	Méthode .....	48
3.1.2	Définition de classes de pressions .....	51
3.2	Indices de pressions par zone de Huet .....	53
4	Sites de « référence » et de « calibration » .....	57
4.1	Principe de la démarche .....	57
4.2	Sites de « référence » .....	58
4.3	Sites de « calibration » .....	63
4.4	Comparaison des sites de « référence » et de « calibration » .....	67
4.4.1	Par rapport à la zonation de Huet .....	67
4.4.2	Par rapport à l'indice de pressions synthétique général .....	67
4.4.3	Caractéristiques environnementales des sites .....	69
4.4.4	Caractéristiques piscicoles des sites .....	73

5	Métriques candidates.....	74
5.1	Sélection des espèces prises en compte .....	74
5.2	Guides retenues pour la modélisation .....	75
5.3	Représentativité et constitution des métriques .....	78
6	Version V.0 de l'indice .....	81
6.1	Modélisation .....	81
6.1.1	Variables environnementales retenues .....	81
6.1.2	Méthodes de modélisation des métriques.....	85
6.1.3	Modèles obtenus .....	87
6.2	Sélection des métriques .....	90
6.2.1	Réponses à l'indicateur synthétique de pressions général .....	90
6.2.2	Réponses significatives par zone et par pression .....	94
6.2.3	Métriques retenues.....	99
6.3	Transformation des métriques et valeurs en EQR.....	99
6.4	Agrégation des métriques.....	100
6.5	Premier établissement des limites de classes .....	100
6.6	Résultats .....	101
6.6.1	Invariabilité de l'indicateur en l'absence de pression .....	101
6.6.2	Réponses aux pressions par zone de Huet .....	102
6.6.3	Évaluation des résultats par les délégations interrégionales .....	108
7	Version V.1.1 de l'indice .....	111
7.1	Modélisation .....	111
7.1.1	Variables environnementales .....	111
7.1.2	Considération des espèces rares.....	112
7.2	Sélection des métriques .....	112
7.2.1	Réponses significatives par zone et par pression .....	112
7.3	Métriques retenues.....	116
7.3.1	Liste des métriques .....	116
7.3.2	Paramètres des modèles.....	116
7.4	Redressement des résidus.....	117
7.5	Transformation des métriques en EQR .....	117
7.6	Agrégation des métriques.....	117
7.7	Harmonisation européenne des limites de classes.....	118
7.7.1	Établissement provisoires des limites de classes .....	118
7.7.2	Vérification des conditions d'harmonisation européenne .....	119
7.7.3	Évaluation de l'accord entre l'IPR+ et les méthodes nationales.....	120
7.7.4	Modifications des bornes des classes de qualité .....	121
7.7.5	Établissement des limites de classes suite à l'harmonisation européenne.....	122
8	Version V.1.2 de l'indice .....	124
8.1	Métrique « classe de tailles fonctionnelles » .....	124
8.2	Métrique « classe de tailles truite » .....	124
8.2.1	Sites de « référence » et de « calibration » .....	124
8.2.2	Métriques candidates .....	125
8.2.3	Sélection de la métrique.....	125
8.2.4	Métrique retenue et paramètres du modèle .....	125

8.3	Agrégation des métriques.....	126
8.4	Réponses aux pressions .....	127
9	Comparaisons des différentes versions de l'indicateur .....	134
9.1	Versions V.1.1 et V.1.2 de l'IPR+ .....	134
9.2	Versions V.0 et V.1.2 de l'IPR+ .....	135
9.3	IPR et version V.1.2 de l'IPR+ .....	136
9.4	Comparaison des classes de qualités écologiques .....	138
10	Version V.1.3 de l'indice .....	140
10.1	Considération des espèces rares .....	140
10.2	Paramètres des modèles.....	140
10.3	Métrique basée sur sur les espèces migratrices amphihalines .....	141
10.3.1	Jeu de données utilisé et méthode d'échantillonnage.....	141
10.3.2	Calcul de la métrique.....	141
10.3.3	État et diagnostic.....	142
10.3.4	Limites d'application .....	143
10.4	Comparaisons des versions V.1.2 et V.1.3 de l'indicateur.....	143
11	Version V.2.0 de l'indice .....	146
11.1	Application de la métrique « classe de tailles truite » .....	146
11.2	Modélisation bayésienne des métriques.....	146
11.2.1	Principe de la modélisation bayésienne .....	146
11.2.2	Paramètres des modèles.....	147
11.2.3	Calcul des valeurs prédites des métriques.....	148
11.3	Transformation des métriques en EQR .....	148
11.4	Agrégation des métriques.....	150
11.5	Note de l'indice et incertitude.....	150
11.6	Choix du nombre d'itérations .....	150
11.6.1	Tests de stabilité.....	150
11.6.2	Vérification de la concordance des résultats de la modélisation classique et de la modélisation bayésienne .....	151
11.7	Métriques participant au calcul de l'IPR+.....	152
11.8	Réponses de l'IPR+ à l'environnement et aux pressions anthropiques.....	153
11.9	Harmonisation européenne des limites de classes.....	154
11.9.1	Établissement provisoires des limites de classes .....	154
11.9.2	Vérification des conditions d'harmonisation européenne .....	155
11.9.3	Évaluation de l'accord entre l'IPR+ et les méthodes nationales.....	156
11.9.4	Modifications des bornes des classes de qualité .....	157
11.9.5	Établissement des limites de classes suite à l'harmonisation européenne .....	158
11.10	Incertitude de prédiction .....	159
11.10.1	Influence du positionnement amont aval sur l'incertitude .....	159
11.10.2	Influence du niveau d'altération des sites sur l'incertitude.....	159
11.11	Variabilité temporelle et incertitude de prédiction .....	160
11.12	Confiance de classification de l'état écologique .....	162
12	Références bibliographiques .....	164
13	Annexes .....	168
13.1	Annexe 1 : Description des pressions .....	168

13.2	Annexe 2 : Valeurs manquantes par variable.....	176
13.3	Annexe 3 : Anomalies dans les différents types de lots.....	179
13.4	Annexe 4 : Espèces retenues dans les guildes .....	188
13.5	Annexe 5 : Classification fonctionnelle des espèces .....	189
13.6	Annexe 6 : Listes spécifiques par guildes .....	190
13.7	Annexe 7 : Diagnostiques des modèles statistiques.....	202

# 1 Introduction et méthodologie générale

## 1.1 Présentation du projet

La mise en place de la directive-cadre sur l'eau (DCE ; Parlement européen & Conseil européen, 2000) et son exigence vis-à-vis de l'évaluation d'un état écologique basé sur des réponses biologiques observées a largement relancé l'intérêt pour les bioindicateurs. Les programmes de surveillance de la qualité des milieux aquatiques mis en place depuis plusieurs décennies et initialement basés sur des suivis de la qualité physico-chimique des eaux, doivent maintenant inclure des éléments biologiques et chercher à quantifier l'ensemble des impacts des activités humaines sur le fonctionnement des cours d'eau : dégradation de la qualité des eaux, altération des fonctionnements hydro-morphologiques et de la connectivité.

La bioindication a déjà une histoire longue d'un siècle, en particulier en relation avec l'évaluation de la dégradation des eaux liée aux rejets urbains et industriels (cf. les indices saprobiques en Allemagne).

Par rapport aux autres organismes à même de fournir une image de la qualité des cours d'eau, les poissons présentent un certain nombre de caractéristiques originales :

- ils intègrent la variabilité environnementale sur de larges échelles d'espace et de temps du fait de leur capacité de déplacement et de leur durée de vie ;
- ils sont à la fois sensibles à la qualité de l'eau et aux altérations de l'habitat en raison de la nécessité de disposer d'habitats de reproduction, de croissance, de repos et de refuge ;
- ils constituent le maillon le plus élevé des chaînes trophiques aquatiques et sont donc sensibles aux altérations des autres peuplements (producteurs et consommateurs primaires et secondaires essentiellement).

À l'inverse, les peuplements piscicoles de l'Europe de l'Ouest, dont la France, sont caractérisés par une diversité spécifique relativement faible en liaison avec les nombreuses extinctions engendrées par les glaciations du quaternaire.

### 1.1.1 Indice d'intégrité biotique de Karr

En ce qui concerne le recours aux poissons comme indicateurs de l'état des milieux aquatiques, les travaux de Karr (1981) aux États-Unis et le concept d'intégrité biotique ont été décisifs. L'indice d'intégrité biotique (IBI) de Karr a été développé directement dans le contexte de la mise en œuvre des mesures de protection des eaux naturelles aux États-Unis : le « Clean Water Act » en 1972 (« To restore and maintain the chemical, physical, and biological integrity of the Nation's waters. ») puis le « National Wildlife Refuge System Improvement Act » en 1977. Il repose sur des postulats qui ont largement été repris dans la directive-cadre sur l'eau.

L'IBI se base sur la notion d'intégrité biotique qui se définit comme l'ensemble des caractéristiques des communautés biologiques (en termes structurel et fonctionnel) que l'on peut observer dans des sites dits « pristines », c'est-à-dire non perturbés par l'homme. À partir de cette hypothèse, il cherche ensuite à mesurer un écart à cet état en liaison avec l'intensité des pressions anthropiques.

Une autre caractéristique de cette méthode est de ne pas utiliser, en premier lieu, la position taxonomique des espèces mais leurs caractéristiques fonctionnelles, ce qui amène à identifier dans les peuplements la présence de différents groupes ou guildes d'espèces ayant les mêmes affinités biologiques et/ou écologiques. Ces guildes sont du même type que les traits biologiques et/ou écologiques qui commencent à être utilisés aujourd'hui pour d'autres groupes. Dans le cas de l'IBI, ces guildes sont à la base de la création de métriques. Celles-ci reflètent donc :

- différentes fonctions exercées par les espèces dans l'écosystème (ex : niveau trophique) ;
- certains traits d'histoire de vie (mode de reproduction, comportement de migration) ;
- les réponses à différentes caractéristiques écologiques (sensibilité au courant, position dans la colonne d'eau en relation avec leur morphologie, etc.) ;
- la tolérance des espèces à la qualité de l'eau (tolérance à la déplétion en oxygène) et à la dégradation de l'habitat ;
- la « santé » des individus des différentes espèces (présence de parasites, de blessures).

Leur définition suppose d'identifier toutes les espèces d'un peuplement et d'en connaître suffisamment l'autécologie, ce qui est quasiment toujours le cas pour les espèces piscicoles en Europe de l'Ouest.

Enfin, c'est une méthode multimétrique, à savoir que l'indice final est une agrégation des notes obtenues pour chacune des métriques.

La méthode implique de définir les caractéristiques attendues des communautés biologiques dans un site donné en l'absence d'impact d'origine anthropique significatif. Cette approche est aussi connue sous le terme de « Reference site approach » (Bailey *et al.*, 1998). Selon les cas, le choix des sites dits de « référence » se fait par approche experte et/ou sur la base de la description de l'intensité des pressions.

Comme pour les autres méthodes de bioindication, la question de l'échantillonnage est essentielle et conditionne en grande partie l'efficacité des indices. Le prélèvement doit notamment être suffisamment important pour permettre une bonne évaluation des occurrences et abondances ainsi que de la richesse spécifique (Angermeier, Smogor & Stauffer, 2000). Les protocoles d'échantillonnage doivent par ailleurs être très bien standardisés.

Les méthodes de type IBI ont été très largement utilisées de par le monde et ce pour différents groupes taxonomiques incluant notamment, en plus des poissons, les macro-invertébrés et les oiseaux. Elles ont subi différentes adaptations en fonction des milieux auxquelles elles s'adressent (Angermeier & Karr, 1986 ; Simon, 1999 ; Roset *et al.*, 2007). La méthode originelle de Karr a évolué. En particulier, la place laissée à l'expertise, bien que restant importante, a décliné. C'est notamment le cas pour le choix des sites de « référence » ainsi que l'estimation des seuils entre classes de réponses pour les différentes métriques.

Un point faible essentiel reste la prise en compte très partielle de la variabilité environnementale naturelle. Karr a considéré cette dernière pour certaines métriques comme celles basées sur la richesse (voir précédemment) mais dans l'ensemble, la variabilité environnementale n'est pas considérée. Par exemple, le pourcentage d'individus insectivores reste le même quel que soit le type de cours d'eau. Cette faiblesse a pour corollaire l'impossibilité d'utiliser un même IBI sur des territoires vastes où les conditions environnementales sont très variables, voir sur le même bassin entre les zones amont et aval. Ceci amène alors à considérer séparément différents types de cours d'eau définis selon des critères environnementaux ou géographiques suffisamment restrictifs pour que les caractéristiques des peuplements, en l'absence de pression, soient stables pour un type de cours d'eau donné. Cette solution présente un inconvénient majeur. En effet, la multiplication des types de cours d'eau réduit singulièrement le nombre de sites et d'échantillons biologiques disponibles par type et rend souvent difficile la définition des conditions de « référence ».

### **1.1.2 Indices multimétriques prédictifs**

Sur la base de ces constatations, une nouvelle famille d'outils a été développée en France. Elle dérive des IBI mais en diffère par certaines caractéristiques essentielles.

La première originalité tient à la prise en compte de la variabilité environnementale naturelle par le recours à la modélisation statistique. Ceci permet, d'une part, de mieux différencier la part de la réponse liée aux perturbations anthropiques et, d'autre part, de proposer des outils pouvant s'appliquer à de vastes espaces et permettant une évaluation standardisée des cours d'eau. Cette modélisation des traits bio-écologiques en fonction de l'environnement s'appuie sur les travaux les plus récents en macroécologie. Dans son principe, elle doit être considérée comme une extension de la théorie de la niche écologique réalisée.

La seconde caractéristique réside en une définition des conditions de « référence » basée non pas sur une approche experte, mais sur une évaluation des différentes pressions anthropiques sur les sites disponibles afin de sélectionner des sites non ou peu perturbés.

Cette méthode a été mise en œuvre dans l'élaboration du premier indice poisson rivière français (IPR) (Oberdorff *et al.*, 2001 ; Oberdorff *et al.*, 2002) et améliorée par la suite au niveau européen (Pont *et*

al., 2006 ; Pont *et al.*, 2007) à l'occasion de deux projets de recherche successifs (FAME, 5<sup>e</sup> PCRD et EFI+, 6<sup>e</sup> PCRD). Elle a également été récemment testée sur les cours d'eau de l'ouest des États-Unis (Pont *et al.* 2009).

Le nouvel indice poisson rivière (IPR+), proposé dans ce rapport, bénéficie des nombreuses avancées acquises au cours des deux projets européens qui l'ont précédé (FAME, EFI+).

## 1.2 Méthodologie

Les principales étapes de la méthode sont décrites dans la figure ci-dessous.

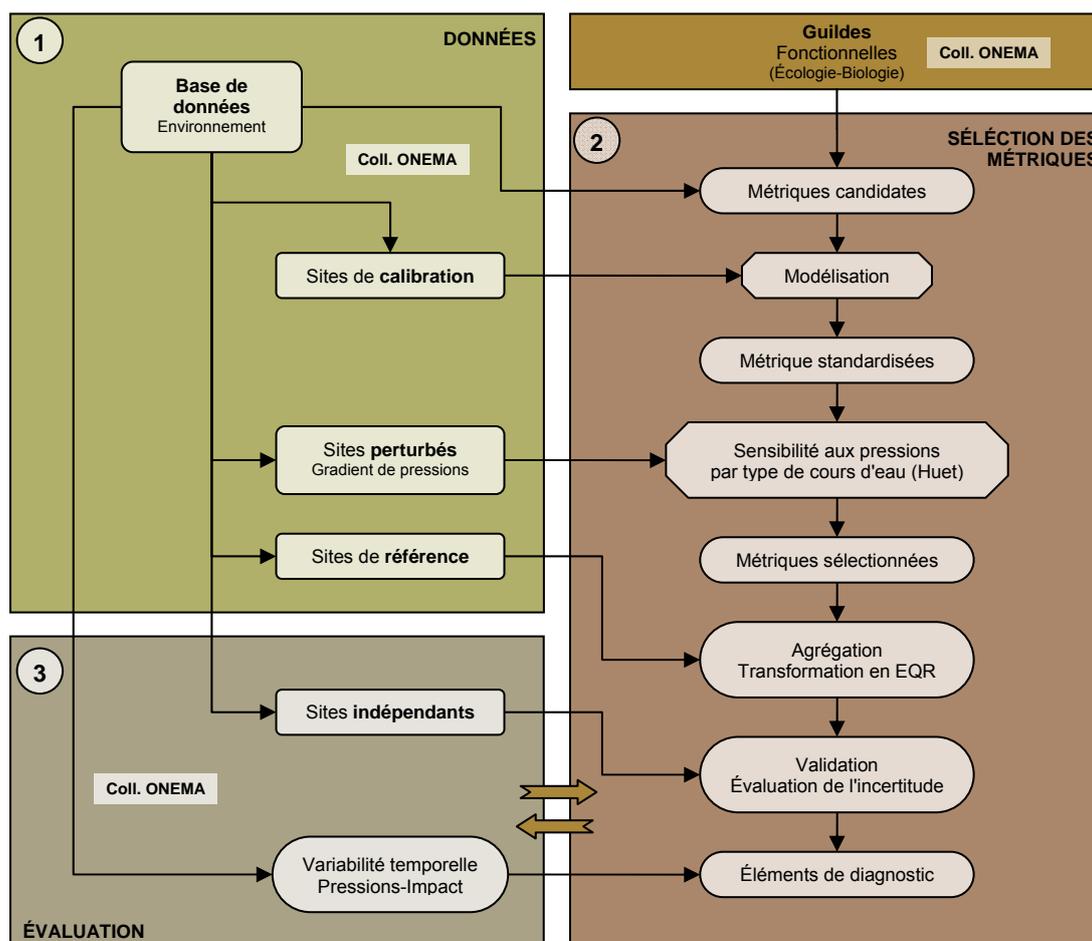


Figure 1 – Schéma synoptique du processus de construction de l'IPR+.

La première étape de ce travail consiste en la création d'une base de données de taille importante : près de 2 000 sites renseignés à la fois sur leurs caractéristiques environnementales locales (taille du bassin drainé, climat, pente du cours d'eau, géologie...), sur l'intensité des différents types de pressions anthropiques (pollution organique, eutrophisation, altération du débit et de l'écoulement, modifications des caractéristiques géomorphologiques de la section, du chenal et du substrat, de la connectivité entre le site et le réseau hydrographique dans son ensemble...) et sur une description quantitative du peuplement piscicole basé sur un échantillonnage du site (richesse spécifique et abondance des taxons, taille des individus capturés).

La deuxième étape est la compilation des informations relatives aux traits biologiques et écologiques caractéristiques des différentes espèces, ceci afin de calculer les métriques candidates à la modélisation. Ces dernières peuvent être exprimées en différentes unités absolues (richesse, abondance, abondance par classe de taille, biomasse) ou relatives.

La troisième étape est la sélection des sites dits de « référence » ou plus exactement dont le niveau de perturbation est considéré comme ne modifiant pas de façon significative le peuplement en place. Dans notre cas, nous avons suivi une démarche se rattachant à celle connue sous le nom de MDC : Minimally Disturbed Condition (Stoddart *et al.*, 2006). Les sites utilisés pour calibrer les modèles sont sélectionnés sur la base de l'examen de leurs caractéristiques physiques et chimiques. Seuls les sites présentant peu ou pas de pressions exercées par l'homme sont retenus (définition d'une liste de critères précis). Cette approche est celle finalement retenue dans le processus d'intercalibration européen. Toutefois, elle se distingue clairement des approches privilégiant la comparaison avec des états historiques antérieurs « pré-industriels » (Hughes *et al.*, 1988 ; Wallin *et al.*, 2003 ; Jungwirth *et al.*, 2002).

En complément, des indices de pressions (qualité d'eau, hydromorphologie) sont établis au niveau global ainsi que par type de cours d'eau afin de définir des gradients de pressions sur l'ensemble du jeu de données.

La modélisation des métriques candidates en fonction des conditions environnementales s'effectue alors sur le jeu de données de sites non perturbés (jeu de « calibration ») en recourant à des méthodes statistiques de type GLM. Selon la nature des métriques (richesse, densité, biomasse ; en valeurs absolues ou relatives), on a recours à différentes familles de distribution (gaussienne, binomiale, etc.).

La sélection des métriques se fait sur la base de différents critères.

Le premier concerne la qualité des modèles obtenus (distribution des résidus, part de variance expliquée, absence de biais, examen des « outliers » et des points influents...). Pour les métriques retenues à ce stade, on peut donc considérer que la variabilité environnementale dite « naturelle », c'est-à-dire en l'absence de perturbation humaine, est prise en compte par le modèle et que les résidus de ce dernier sont donc indépendants des pressions anthropiques. Si cette hypothèse est réalisée, la valeur des métriques sélectionnées doit être toujours la même quelque soit le site non perturbé considéré, ce que nous avons démontré dans différents cas (Pont *et al.*, 2006). On obtient ainsi une valeur standardisée (par rapport à l'environnement) de la métrique. L'efficacité de cette standardisation est testée à l'aide de variables externes au modèle (zonation de Huet (1954), méthodes d'échantillonnage, appartenance à des entités régionales, etc.). Au besoin, les valeurs obtenues sont redressées.

Un autre critère consiste à vérifier la représentativité des métriques, c'est-à-dire la présence en nombre significatif des espèces et/ou des individus les composant sur les différentes parties du réseau hydrographiques (gradient longitudinal, bassins, etc.).

Le stade suivant consiste à discriminer les métriques les plus sensibles aux pressions. Pour ce faire, les modèles permettent de prédire, pour les sites perturbés, les valeurs attendues des métriques en l'absence de pression humaine. Dès lors, l'écart entre la valeur observée (calculée à partir de la pêche effectuée sur le site) et la valeur prédite fournit la réponse du peuplement à la perturbation et l'ampleur de cet écart traduira la déviation observée par rapport à l'état dit de « référence » en réponse à l'intensité des pressions.

Ces différents critères amènent à une sélection parmi les métriques, et l'indice est obtenu par agrégation de la liste finale de métriques. Il varie de 0 à 1. On s'attend alors à une décroissance de l'indice le long d'un gradient de pressions globales.

Tout au long de la démarche de sélection des métriques, nous testerons les métriques de façon indépendantes selon les différentes zones constituant le gradient longitudinal. Dans la pratique, nous avons retenu la zonation de Huet qui est classique et peut s'établir simplement en fonction la largeur et de la pente du cours d'eau. On pourra donc déboucher sur des listes de métriques sélectionnées différentes selon les zones et donc à différents indicateurs.

Les étapes finales consistent en la validation des résultats à l'aide d'un jeu de données indépendant et en la définition des limites de classes écologiques (Pont *et al.*, 2007). Ces dernières peuvent

notamment être fixées en cherchant à équilibrer les risques de classer un site de « référence » (non perturbé) comme altéré et inversement, en particulier dans le cas de la définition de la limite entre le « bon » état (classe 2) et l'état « moyen » (classe 3). Dans notre cas, la fixation des limites de classes tiendra d'abord compte des recommandations issues du groupe d'intercalibration européen traitant de l'indicateur poissons dans les cours d'eau.

### **Une métrique complémentaire basée sur les espèces « grands migrants »**

Il faut cependant noter que la prise en compte des modifications à l'échelle du bassin reste problématique, dans la mesure où ceux-ci sont quasi toujours largement modifiés. On peut cependant considérer, à cette échelle, des seuils en termes d'urbanisation et de culture intensive (Wasson *et al.*, 2006), ainsi que les ruptures de connectivités liées à la présence d'ouvrages à l'aval de la masse d'eau et leurs conséquences sur les migrations des espèces diadromes.

Pour ce dernier cas, une métrique spécifique basée sur la présence des espèces de grands migrants est en cours de développement parallèlement à ce travail. En comparant le nombre d'espèces diadromes actuelles avec celles connues historiquement (fin du XIX<sup>e</sup> siècle, avant la construction des grands barrages) sur un tronçon de cours d'eau donné, on pourra apprécier l'impact des ouvrages sur la connectivité aval. Dans ce cas, le recours à des données historiques est envisageable : on s'adresse à une perturbation spécifique bien identifiée et de nombreuses informations historiques existent sur ces espèces migratrices.

## 2 Base de données IPR+

### 2.1 Structure générale des données

La base de données IPR+ présente 1 948 stations pour 11 210 opérations de pêche échantillonnées de 1978 à 2007, soit environ 5,8 opérations par station, réparties sur l'ensemble de la France métropolitaine et la Corse.

Ces données sont issues de différentes opérations de pêche effectuées par le Conseil supérieur de la pêche (CSP) puis par l'Office national de l'eau et des milieux aquatiques (ONEMA), dans le cadre :

- d'études piscicoles spécifiques ;
- de suivis engagés pour certains de longue date (RHP) ;
- de la mise en place des suivis accompagnant la mise en œuvre de la directive-cadre sur l'eau en France (Parlement européen & Conseil européen, 2000).

D'un point de vue administratif, ces opérations d'échantillonnage se distribuent entre les 9 délégations interrégionales (DiR) de l'ONEMA. Les données ont été fournies par les correspondants de chaque DiR, et centralisées au niveau nationales par N. Roset (puis Y. Reyjol à partir de septembre 2009).

DiR 1 : Nord-Ouest (Compiègne) corr. : C. Blanchard	DiR 6 : Auvergne/Limousin (Clermont-Ferrand) corr. : W. Sremski
DiR 2 : Bretagne/Pays de la Loire (Rennes) corr. : T. Vigneron	DiR 7 : Sud-Ouest (Toulouse) corr. : L. Blanc
DiR 3 : Nord-Est (Metz) corr. : S. Manné	DiR 8 : Méditerranée (Montpellier) corr. : S. Lefebvre
DiR 4 : Centre/Poitou-Charentes (Orléans) corr. : S. Tomanova	DiR 9 : Bourgogne/Franche-Comté (Dijon) corr. : J. Bouchard
DiR 5 : Rhône-Alpes (Lyon) corr. : N. Roset	

Tableau 1 – Répartition par DiR du nombre de stations et du nombre d'opérations de pêche.

	DiR1	DiR2	DiR3	DiR4	DiR5	DiR6	DiR7	DiR8	DiR9
Stations	256	162	323	162	170	134	295	275	171
Opérations	1707	918	2781	885	723	912	1537	1096	651

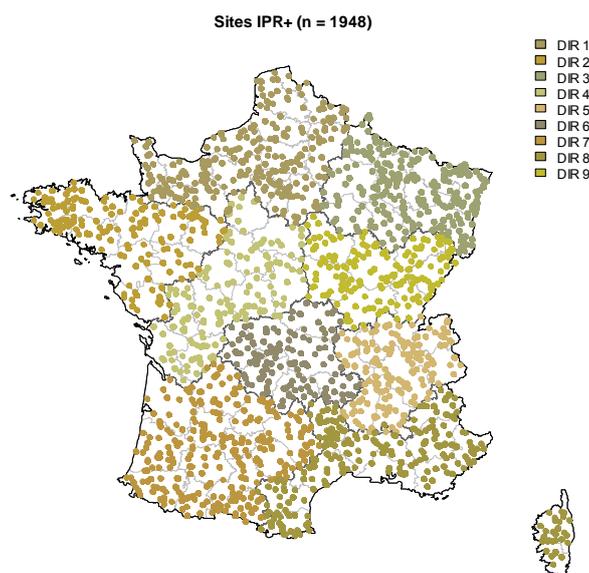


Figure 2 – Distribution de l'ensemble des stations de la base de données IPR+.

## Structure de la base

La base de données comporte 9 tables piscicoles (une pour chacune des 9 délégations interrégionales) et 9 autres tables couvrant les descripteurs de l'environnement, de pressions et les données relatives aux présences des espèces « grands migrateurs ».

Tableau 2 – Description des tables de la base de données.

Table	Description
STATION	Caractéristiques des stations de pêche
OPERATION	Conditions lors des opérations de pêche
EXPERTISE	Pressions anthropiques associées aux stations
MIGRATEUR	Évaluation de la présence de migrateurs
CLC	Occupation du sol à partir des données Corine Land Cover
HYDROLOGIE	Hydrologie associée aux stations [IRSTEA]
QUALEAULINEAIRE	Qualité d'eau linéaire pour les principales familles de macropolluants [agences de l'eau]
MACROPOLLUANTS	Qualité d'eau détaillée concernant les macropolluants par périodes de 5 ans de 1980 à 2007
MICROPOLLUANTS	Qualité d'eau détaillée pour les micropolluants
POISDRX	9 tables de données piscicoles (X : numéro de DiR)

Selon les cas, les variables et les tables correspondantes sont rattachées à la station (absence de modification dans le temps et/ou valeurs moyennes interannuelles) ou à l'opération.

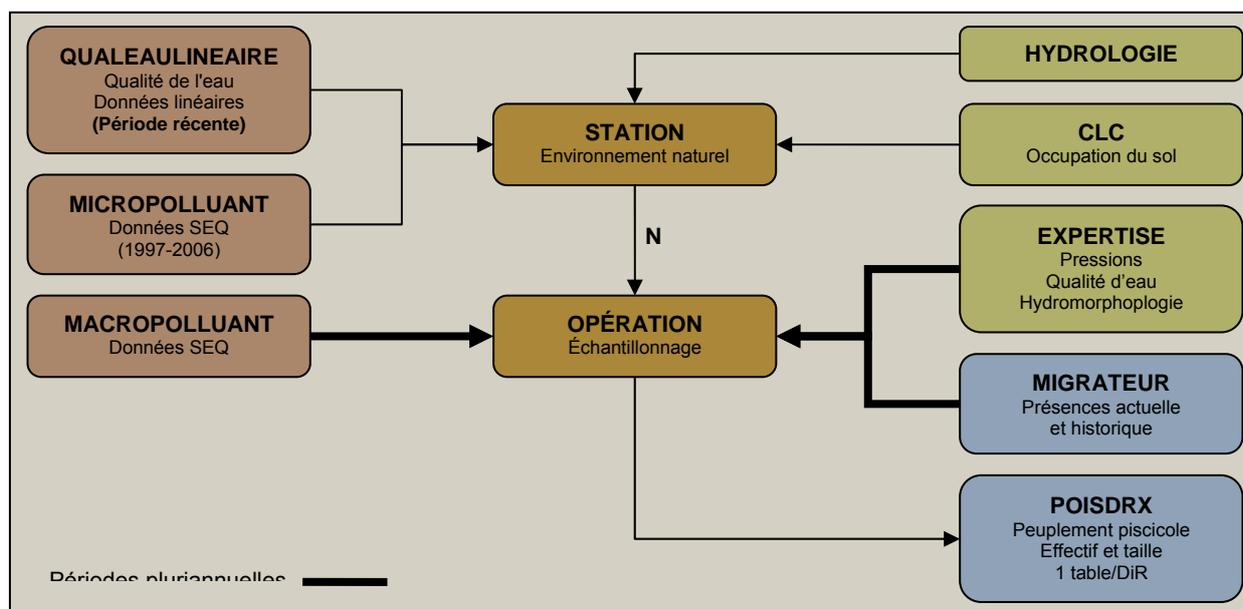


Figure 3 – Schéma synoptique de la base de données IPR+.

Cette base de données est constituée sous le logiciel Microsoft Office Access (Microsoft Corporation, 2003). L'essentiel des opérations d'extraction de sous-jeux de données à partir de cette base, ainsi que les représentations graphiques et les analyses statistiques sont réalisées directement sous le logiciel R (R Development Core Team, 2009).

## 2.2 Données environnementales et pressions

### 2.2.1 Descriptions des tables

Les informations contenues dans les tables sont, selon les cas, en provenance d'autres bases de données, d'outils de spatialisation (SIG), de relevés cartographiques ou de mesures sur le terrain effectuées à l'occasion des opérations de prélèvement.

Une partie des données issues de SIG a été fournie par l'IRSTEA de Lyon (H. Pella).

Tableau 3 – Descriptif de la table STATION.

Paramètres	Description
DR	Code de la Délégation interrégionale gérant la station
CODESTA	Code de la station BDMAP (8 caractères)
NOMSTA	Nom de la station
RIV	Nom usuel du cours d'eau renseigné dans BDMAP
CGENELIN	Code hydro générique du cours d'eau dans BD-Carthage
COM	Nom de commune donné dans BDMAP
X_ONEMA	Abscisse de la limite aval de la station (Lambert 2 étendu)
Y_ONEMA	Ordonnée de la limite aval de la station (Lambert 2 étendu)
X_CTRL	Abscisse de la limite aval de la station (Lambert 2 étendu ; validation SIG par C. Rogers)
Y_CTRL	Ordonnée de la limite aval de la station (Lambert 2 étendu ; validation SIG par C. Rogers)
X_BDC	Abscisse - positionnement exact sur l'arc hydrographique BD-Carthage (Lambert 2 étendu)
Y_BDC	Ordonnée - positionnement exact sur l'arc hydrographique BD-Carthage (Lambert 2 étendu)
BASS_IPR	Grand bassin utilisé dans l'IPR
HUET	Zone de Huet (calculée à partir d'une formule)
BASS_EFI	Régions ichtyologiques de Huet
HER1	Hydroécocorégion de niveau 1 (IRSTEA) pour l'application de la DCE
ECOREG_ILLI	Écorégion telle que définie dans la <i>Limnofauna Europaea</i> (Illies, 1978)
GIG	Groupe géographique d'intercalibration correspondant
STRAHL_CEMAG	Rang de Strahler corrigé
TYPE_DCE	Codification selon la typologie nationale combinant HER et rang
REGIME_GV	Typologie des régimes selon (Guigo & Vivian, 1995) (13 classes)
REG4_GV	Typologie des régimes hydrologiques (Guigo & Vivian, 1995) (4 groupes) REG-NG : nivale à glaciaire (cl 1 à 3) ; REG-PN : pluvial à influence nival (cl 4 et 5) REG-PM pluvial modéré (cl 6 à 9) ; REG-PF : pluvial forte (cl 10 à 13)
GEOL1	Grand type de formation géologique dominante sur le bassin versant en amont en 2 classes) C : calcaire (craie, marne, calcaire, etc.), S : siliceux (granite, schiste, sable)
GEOL2	Grand type de formation géologique dominante sur le bassin versant en amont (3 classes) (IRSTEA-Lyon)
DIST_DiR	Distance entre la station (repérée par sa limite aval) et la source du cours d'eau (km) (DiR)
DSCE_DAST	Distance entre la station (repérée par sa limite aval) et la source du cours d'eau (km) (DAST)
DMER_DAST	Distance entre la station définie par sa limite aval et la mer (km) (DAST)
DSCE_CEMAG	Distance entre la station (repérée par sa limite aval) et la source du cours d'eau (km) (IRSTEA-Lyon)
BV_DiR	Surface du bassin drainé en amont de la station (km) (DiR)
BV_FINAL	Surface du bassin drainé en amont de la station (km <sup>2</sup> ) (validation SIG par C. Rogers)
ALT	Altitude de la station (m)
ALTMOY_BV	Altitude moyenne du Bassin amont (IRSTEA-Lyon)
PENT	Pente actuelle du cours d'eau sur un tronçon encadrant la station (‰) (carte IGN)
PENT_CH	Gradient moyen du tronçon réseau théorique (m/km) (IRSTEA-Lyon)
PTMOY_BV	Moyenne des pentes de versant du bassin amont (%) (IRSTEA-Lyon)
TJANV	Température moyenne interannuelle (période 1980-1999) de l'air du mois de janvier (°C) (Rogers & Pont, 2005)
TMIN_AN	Température moyenne interannuelle (période 1961-1990) du mois le plus froid (°C) (IRSTEA-Lyon ; modèle AURELHY, Benichou & Le Breton, 1987)
TJUIL	Température moyenne interannuelle (période 1980-1999) de l'air du mois de juillet (°C) (Rogers & Pont, 2005)
TMAX_AN	Température moyenne interannuelle (période 1961-1990) du mois le plus chaud (°C) (IRSTEA-Lyon ; modèle AURELHY, Benichou & Le Breton, 1987)
LONGSTA	Longueur de la station (m)
TEAUESTIV	Température moyenne de l'eau des 30 jours consécutifs les plus chauds (°C)
DURETE	Dureté calco-magnésienne (mg/l)
LARGLIT	Largeur moyenne du lit mineur (m). Distance entre les niveaux de plein bord
LAC	Présence d'un lac naturel à l'amont
PRES_EW	Classe d'occupation des sols à l'échelle de la zone hydrographique (Eurowaternet)
OS_CLC	Classe d'occupation des sols dominante (Corine Land Cover)
CLAS_ONEMA	Classe d'occupation des sols dominante (Eurowaternet, modifiée par l'ONEMA)

### Régime hydrologique

Concernant la variable REG4\_GV, nous avons remplacé les données manquantes par la modalité « reg\_pm » et ce, pour l'ensemble des stations des départements de Corse (2A et 2B).

### Zonation de Huet

Pour la version V.0 (mai 2011) de l'IPR+, l'appartenance d'une station à une zone de Huet a été redéfinie à partir des critères de la classification utilisée par J. Breine de l'Institut voor natuur- en bosonderzoek (INBO) et les services de suivis aquatiques de Belgique (tableau ci-dessous). La zone appelée « amont » qui est une spécificité a été remplacée par « truite ». Les valeurs fournies par

l'ONEMA différaient dans un certain nombre de cas de cette classification et nous avons préféré travailler avec cette classification pour la version préliminaire de l'indicateur.

Tableau 4 – Définition des zones de Huet en fonction de la largeur et de la pente.

Largeur (m)	Pente ‰	Zone	Pente ‰	Zone	Pente ‰	Zone	Pente ‰	Zone
≥ 100	< 0.25	brème	≥ 0.25	barbeau	< 4.50	ombre	≥ 4.50	truite
≥ 60	< 0.33	brème	< 1.25	barbeau	< 5.00	ombre	≥ 5.00	truite
≥ 30	< 0.45	brème	< 1.50	barbeau	< 5.50	ombre	≥ 5.50	truite
≥ 25	< 0.50	brème	< 1.75	barbeau	< 5.70	ombre	≥ 5.70	truite
≥ 20	< 0.50	brème	< 2.00	barbeau	< 6.00	ombre	≥ 6.00	truite
≥ 15	< 0.60	brème	< 2.00	barbeau	< 6.50	ombre	≥ 6.50	truite
≥ 10	< 0.70	brème	< 2.30	barbeau	< 7.00	ombre	≥ 7.00	truite
> 4.5	< 1.00	brème	< 2.70	barbeau	≥ 3.00	amont		
≤ 4.5	< 1.00	brème	< 3.00	barbeau				

Pour la version V.1 de l'indicateur, une autre solution a été utilisée. La zonation a été redéfinie à partir des critères originaux de Huet. Pour ce faire, nous avons modélisé les courbes du « graphique des pentes », fourni par Huet dans sa publication de 1954 (Huet, 1954).

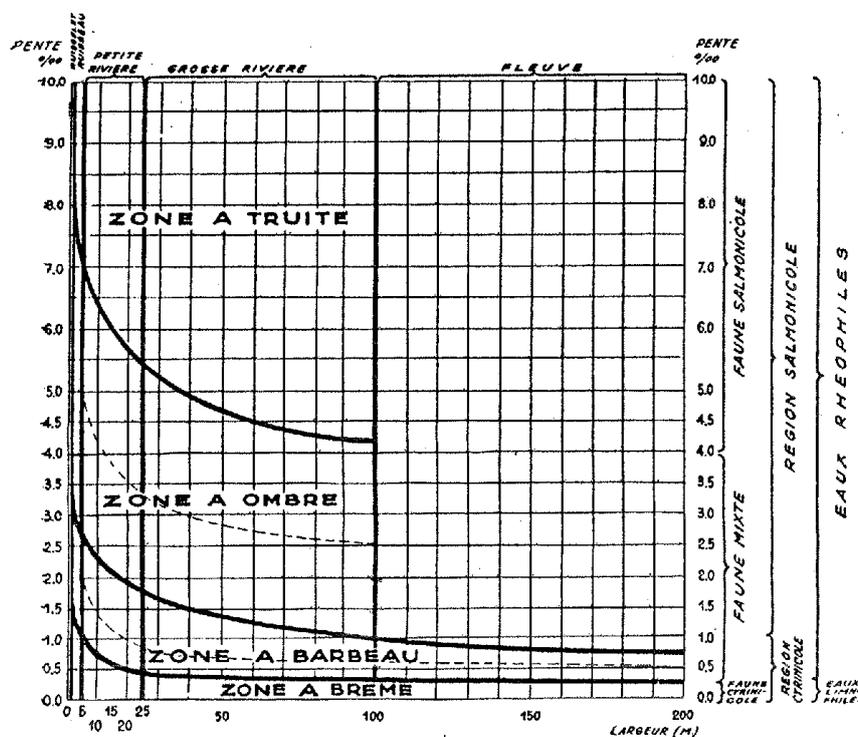


Figure 4 – Version originale du « graphique des pentes » de Huet (1954).

Les courbes de limite de zones sont modélisées par des régressions non linéaires à partir des points remarquables du graphique de Huet. Les modèles utilisés sont de type « exponentiel » et de la forme :

$$\text{pente} = a + b \times \exp(c \times \text{largeur})$$

Les paramètres estimés ainsi que les statistiques des modèles de limite de zones sont présentés dans les 3 tableaux suivants.

Tableau 5 – Statistiques du modèle de la limite entre la zone à truite et la zone à ombre.

Paramètre	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
a	4.147	0.112	36.926	0.001
b	3.532	0.113	31.191	0.001
c	-0.041	0.005	-8.228	0.014

Tableau 6 – Statistiques du modèle de la limite entre la zone à ombre et la zone à barbeau.

Paramètre	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
a	0.760	0.093	8.180	0.004
b	2.196	0.114	19.213	0.000
c	-0.027	0.004	-6.748	0.007

Tableau 7 – Statistiques du modèle de la limite entre la zone à barbeau et la zone à brème.

Paramètre	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
a	0.252	0.013	20.170	0.032
b	1.073	0.018	58.070	0.011
c	-0.075	0.003	-26.440	0.024

En dehors du domaine de définition strict des zones défini par Huet (largeur > 100 pour les zones à truite et à ombre ; largeur > 200 pour les zones à barbeau et à truite ; pente > 10 pour la zone à truite), les limites sont extrapolées en suivant les paramètres des équations des modèles. Ainsi, est-il possible d'affecter une zone à chaque couple de point largeur-pente. Chacune des stations IPR+ où ces deux variables sont disponibles peut donc être attribuée à une des 4 zones de Huet. Cette variable est nommée HUET54.

Il faut toutefois garder à l'esprit que Huet a défini sa zonation à partir de données de Wallonie. Aussi, faut-il conserver un regard critique sur cette typologie qui ne tient pas compte de la température. Le gradient thermique étant relativement important en France, l'avis d'expert doit être considéré pour corriger les éventuelles erreurs de typologie — tout particulièrement dans des régions telles que les zones alpines froides ou la région méditerranéenne.

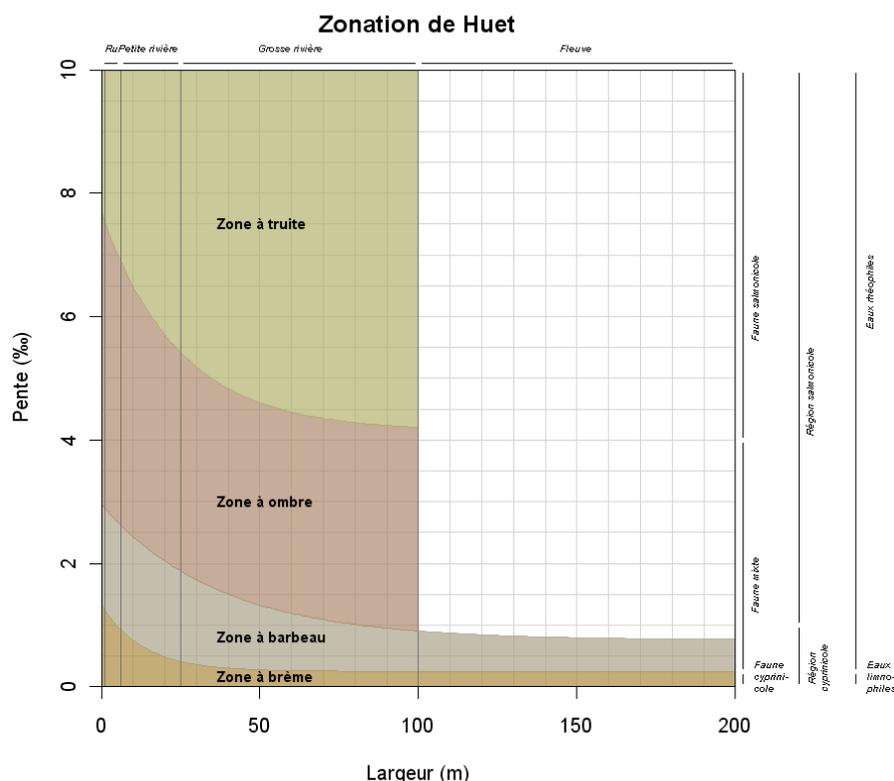


Figure 5 – Modélisation du « graphique des pentes » de Huet (1954).

## Températures

Afin de travailler avec des données thermiques plus adaptées aux années de pêches conservées dans ce travail (1998-2007), il a été décidé, pour la version V.1 de l'indicateur, de ne pas utiliser les données disponibles dans la base de données IPR+ en raison de leur trop grande ancienneté. En effet, les données thermiques issues des analyses AURELHY (Benichou & Le Breton, 1987) — qui sont utilisées dans la version V.0 (mai 2011) de l'IPR+ — sont disponibles pour la période 1961-1990 et celles utilisées dans l'application de l'IPR (Rogers & Pont, 2005) couvrent la période 1980-1999. Dans la version V.1, les données de températures au niveau de la station de pêche servant à modéliser les métriques de l'IPR+ ont été recalculées à partir du modèle SAFRAN sur une période fixe précédant la date du prélèvement.

La période a été définie pour une durée de 10 ans (l'année du prélèvement et les 9 années le précédant). Cette période de temps, si elle est peut-être insuffisante pour mettre en évidence les effets des années thermiquement exceptionnelles est en revanche, bien adaptée pour rendre compte de dérives climatiques sur le long terme.

SAFRAN/France est un système d'analyse à mésoéchelle de variables atmosphériques près de la surface. Il utilise des observations de surface (Météo-France), combinées à des données d'analyse de modèles météorologiques — notamment la réanalyse ERA du Centre européen de prévision météorologique à moyen terme (CEPMMT) —, pour produire 8 paramètres météorologiques au pas de temps horaire : le vent à 10 m, la température de l'air et l'humidité relative à 2 m, la nébulosité, les rayonnements solaires visible et infrarouge, ainsi que les précipitations liquides et solides). Ces paramètres sont analysés avec une résolution verticale de 300 m d'altitude et sont ensuite interpolés sur une grille de calcul régulière (8×8 km<sup>2</sup>). Pour les questions de validation de la réanalyse SAFRAN/France, il convient de se référer aux articles de Quintana-Segui *et al* (2008) et Vidal *et al.* (2010).

Les résultats des réanalyses SAFRAN/France de Météo-France ont été fournis par les hydrologues de l'IRSTEA d'Antony (Bourgin & Andreassian, communication personnelle). Cette grille, dont les coordonnées sont exprimées en Lambert 2 étendu et en WGS84, couvre la France métropolitaine et la Corse, ainsi que quelques zones transfrontalières. Elle présente une maille de 8 km de côté, soit un total de 9 892 points. Pour chaque maille, les températures de l'air mensuelles interannuelles ainsi que l'altitude de la maille sont disponibles pour la période 1959-2008. À partir des fichiers de Météo-France, il sera possible de mettre à jour annuellement ces données afin de pouvoir calculer l'IPR+ sur les années postérieures à 2008.

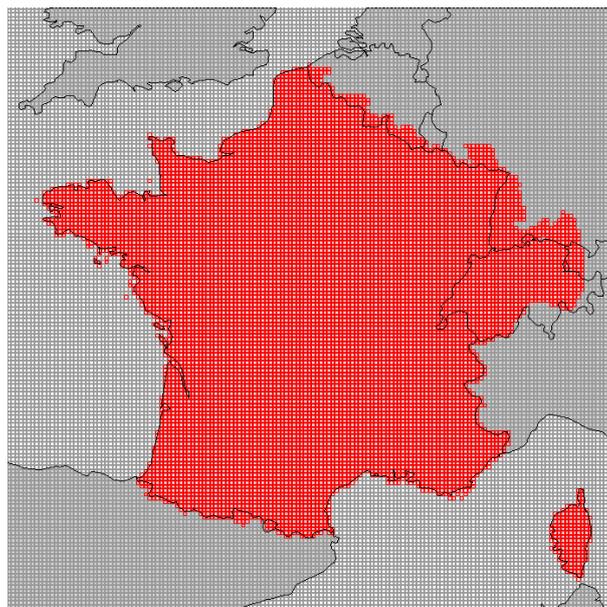


Figure 6 – Maillage SAFRAN/France (en rouge) permettant la modélisation des températures en France.

À l'intérieur d'une maille de 8 km<sup>2</sup>, il est fréquent de rencontrer des contrastes thermiques importants, notamment dans des régions accidentées. Il est également probable de rencontrer des écarts importants entre l'altitude moyenne des mailles et l'altitude des stations de pêche, puisque ces dernières se situent forcément dans des talwegs. Pour limiter les risques d'erreurs liés aux différences entre l'altitude de la station et l'altitude de la maille, il convient de procéder à un ajustement de l'estimation de la température en fonction de l'écart entre l'altitude de la maille et l'altitude de la station (Rogers & Pont, 2005).

Le coefficient du gradient thermique d'altitude, appliqué ici pour estimer la température à la station, est la valeur constante choisie, par l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI), dans le modèle d'atmosphère connu sous le nom « atmosphère type OACI » issu du modèle atmosphérique ISA (International Standard Atmosphere) de l'International Organization for Standardization (1975). Ce correctif de  $-6,5\text{ °C}$  par kilomètre est valable pour la troposphère (atmosphère terrestre située entre la surface du globe et une limite fixée à 11 km) et s'applique donc sans problème à l'ensemble des stations du jeu de données.

Aussi, est-il possible d'estimer la température de l'air pour chacune des stations de pêche par la formule suivante :

$$T_{\text{site}} = T_{\text{maille}} - (\text{ALT}_{\text{site}} - \text{ALT}_{\text{maille}}) \times 0.0065$$

avec :

- $T$ , la température (°C),
- $\text{ALT}$ , l'altitude de la station (m).

Pour chaque opération de pêche du jeu de données (Corse comprise), on peut donc calculer les températures mensuelles sur une période de 10 ans précédant la date du prélèvement. À partir de ces données mensuelles, on calcule température moyenne interannuelle ( $\text{TEMP\_MEAN\_STA\_Y}$ ) et l'amplitude thermique moyenne interannuelle ( $\text{TEMP\_AMPL\_STA\_Y}$ ; différence entre les températures du mois le plus froid et du mois le plus chaud).

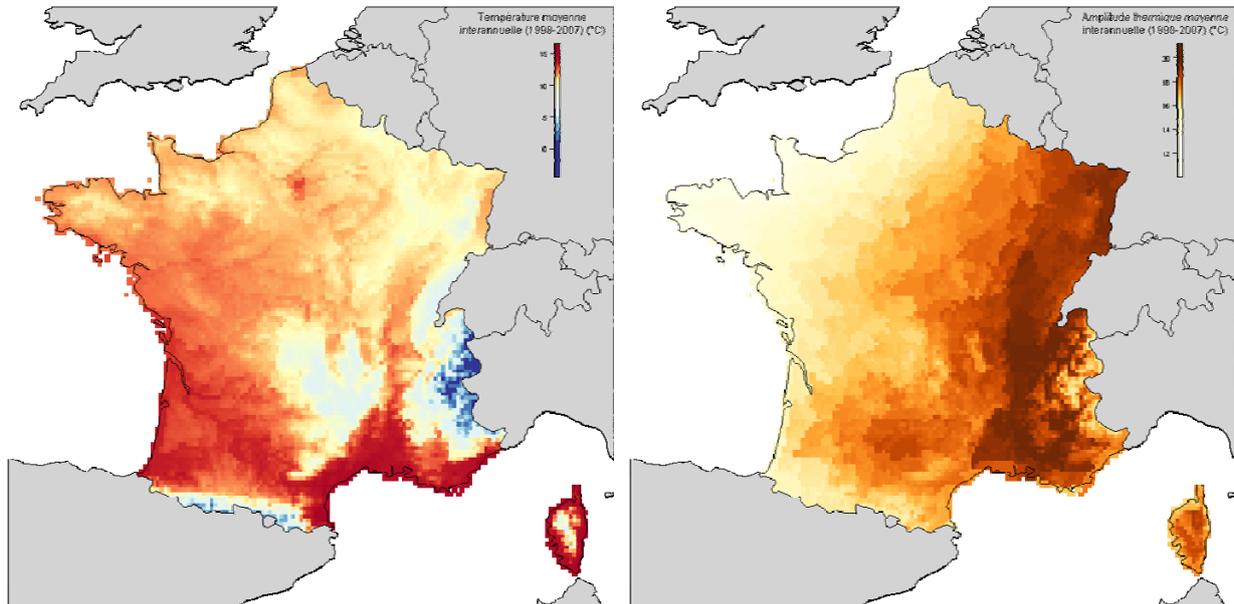


Figure 7 – Température moyenne interannuelle ( $\text{TEMP\_MEAN\_STA\_Y}$ ; à gauche) et amplitude thermique moyenne interannuelle ( $\text{TEMP\_AMPL\_STA\_Y}$ ; à droite) durant la période 1998-2007, d'après les analyses SAFRAN/France.

Par ailleurs, une nouvelle donnée thermique, absente de la base de données IPR+ — mais nécessaire pour le calcul de la puissance hydraulique qui est intégrée dans les modèles —, a été calculée à partir du modèle SAFRAN/France. Il s'agit de la température moyenne interannuelle (calculée, ici aussi, sur une période de 10 ans) sur le bassin versant amont de la station ( $\text{TEMP\_MEAN\_BV\_Y}$ ). Cette donnée entre dans le calcul de la puissance hydraulique *via* l'estimation

de l'évaporation potentielle sur le bassin versant amont de la station de pêche. Dans la version V.0 (mai 2011) de l'indicateur, cette variable, alors non disponible, était approchée par la température moyenne au niveau du site, ce qui pouvait engendrer des biais non négligeables. La surface du bassin versant amont, permettant le calcul de cette nouvelle variable thermique, a été calculée de manière automatique (Lobligeois, communication personnelle) à l'aide du plan de drainage des bassins versants de France métropolitaine développé par les hydrologues de l'IRSTEA d'Antony (Bourgin *et al.*, 2011). Cette surface a servi à calculer la température moyenne mensuelle (et les précipitations moyennes, cf. *infra*) du BV amont. Cependant, la surface utilisée pour calculer la puissance hydraulique reste celle fournie dans la base de données et vérifiée par C. Rogers (BV\_FINAL). Comme la Corse est exclue de ce plan de drainage, les valeurs de température du bassin versant seront approchées, pour cette région, par celles estimées au niveau de la station (TEMP\_MEAN\_STA\_Y).

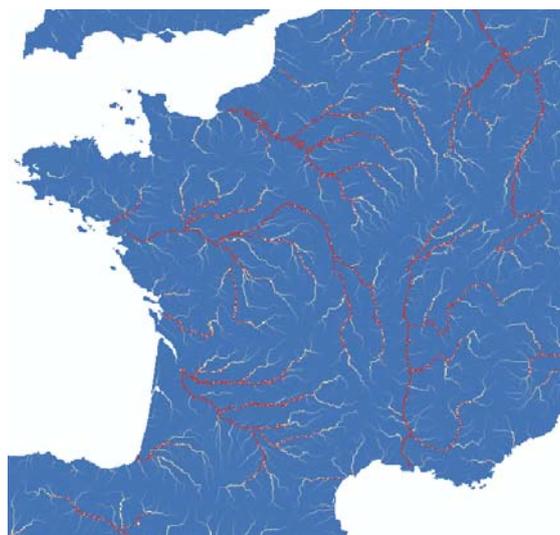


Figure 8 – Plan de drainage des bassins versants de France métropolitaine.

Tableau 8 – Descriptif de la table OPERATION.

Paramètres	Description
CODST_OP	Champs faisant le lien avec la table station (CODESTA)
CODOPERA	Code de l'opération (11 caractères)
DATE	Date de l'opération (JJ/MM/AAAA)
ANNEE	Année
RESO	Type d'objectif de l'opération
Etude	L'opération rentre-elle dans le cadre d'une étude piscicole à vocation divers ?
RHP	L'opération fait-elle partie du Réseau hydrobiologique et piscicole ?
RNB	L'opération fait-elle partie du Réseau national de bassin ?
DCeref	L'opération fait-elle partie du Réseau national des stations de « référence » ?
RCS	L'opération fait-elle partie du Réseau de contrôle de surveillance national ?
CONDUCT	Conductivité mesurée lors de l'opération ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
TEAU	Température mesurée lors de l'opération ( $^{\circ}\text{C}$ )
LARGEAU	Largeur moyenne en eau de la rivière au moment de la pêche (m). Mesurée sur la base de plusieurs transects. Si bras multiples, somme des largeurs des bras
PROFMOY	Profondeur moyenne de la station lors de la pêche (m). Mesures par transect
METHOD	Méthode d'échantillonnage : Pied, Bateau, Mixte
STRATEG	Stratégie d'échantillonnage : compl, partamb, partpoint, partberg, partautr
LONGPECH	Longueur pêchée (m) dans le cas d'une pêche complète
SURF	Surface réellement prospectée ( $\text{m}^2$ )
HAB_ECH	Lorsque la station présente des annexes hydrauliques connectées, préciser les habitats (C : chenal uniquement, CA : chenal + annexes, A : annexes seules, NC : pas d'annexes, que chenal)
NBPAS	Nombre de passages réalisés dans le cas d'une pêche complète
NBZON	Nombre de sous-unités d'échantillonnages lors d'une pêche partielle
NBSYST	Nombre de points systématiques dans le cas d'une pêche par points grands milieux

Tableau 9 – Descriptif de la table EXPERTISE.

Paramètres	Description
CODST_EXP	Champs faisant le lien avec la table station (CODESTA)
PERIOD	Période pour la caractérisation
StaPeriodExpert	Proposition de codification station/période
RefFIDES	Indique si la station était considérée comme « référence » dans Fides
DCERef	Indique si la station fait partie de réseau de « référence » national
REF_CAL_ONEMA	Expertise globale réalisée
BarMer	Présence d'obstacle (non naturel) à la migration à l'aval de la station jusqu'à la mer
BarAmt	Présence d'obstacle (non naturel) dans le tronçon à l'amont de la station
BarAv	Présence d'obstacle (non naturel) dans le tronçon à l'aval de la station
NbAmt	Nombre d'obstacles dans le tronçon à l'amont de la station
NbAv	Nombre d'obstacles dans le tronçon à l'aval de la station
HydroRegimModif	Le régime des débits est modifié
HydroEclus	La station est soumise à des variations du débit dues à des barrages
HydroQres	La station est en situation de débit réservé
HydroPrelev	Importance des prélèvements
MorphoFaciesRete	Retenue, mise en bief
MorphoFaciesAccel	Banalisation des faciès d'écoulement caractérisée par un accroissement de vitesse due à une réduction de largeur par endiguement, rectification (réduction de la sinuosité) ou en aval immédiat d'un barrage
MorphoBerge	Degré d'artificialisation des berges sur le tronçon
MorphoRipisyl	Effets d'un entretien excessif de la végétation ou de l'artificialisation des rives
MorphoColmat	Évaluation de l'importance du colmatage sur la station pêchée
MorphoRectif	Modification globale du tracé du cours d'eau
MorphoRecal	Chenalisation/recalibrage
MorphoAutre	Autres altérations réduisant la diversité des habitats
MorphoTransSolid	Altération du transport solide
MorphoDigMaj	Altération de la connectivité latérale
ThermModif	Modification du régime thermique
PollTox	Déversement de substances dangereuses
PollOrga	Existence de rejets à forte teneur en matière organique insuffisamment épurés
PollNutr	Enrichissement en azote et en phosphore
PollEutroph	Évaluation synthétique de l'impact des deux paramètres précédents
PollAcid	Acidification des eaux d'origine anthropique
PollSalin	Apports salins d'origine anthropique
DivEtang	Présence d'étangs ou de retenue collinaire à proximité de la station
DivNavig	Évaluation de l'intensité de la navigation à grand gabarit
DivLois	Niveau de la fréquentation liée aux loisirs nautiques
DivHalieut	Évaluation qualitative de l'impact potentiel de la gestion halieutique

Une description plus précise des modalités des différentes variables de la table EXPERTISE est fournie en annexe de ce rapport.

Tableau 10 – Descriptif de la table MIGRATEUR.

Paramètres	Description
CODST_MIGR	Champs faisant le lien avec la table station (CODESTA)
PERIOD2	Période de caractérisation
StaPeriodMigrat	Proposition de codification station/période
EST-hist	Présence historique probable aux environs de la station
EST-act	Présence actuelle connue et mode de recrutement dominant
ALA-hist	Présence historique probable aux environs de la station
ALA-act	Présence actuelle connue et mode de recrutement dominant
ALF-hist	Présence historique probable aux environs de la station
ALF-act	Présence actuelle connue et mode de recrutement dominant
SAT-hist	Présence historique probable aux environs de la station
SAT-act	Présence actuelle connue et mode de recrutement dominant
ANG-hist	Présence historique probable aux environs de la station
ANG-act	Présence actuelle connue et mode de recrutement dominant
LPR-hist	Présence historique probable aux environs de la station
LPR-act	Présence actuelle connue et mode de recrutement dominant
LPM-hist	Présence historique probable aux environs de la station
LPM-act	Présence actuelle connue et mode de recrutement dominant
TRM-hist	Présence historique probable aux environs de la station
TRM-act	Présence actuelle connue et mode de recrutement dominant
FLE-hist	Présence historique probable aux environs de la station
FLE-act	Présence actuelle connue et mode de recrutement dominant
EPE-hist	Présence historique probable aux environs de la station
EPE-act	Présence actuelle connue et mode de recrutement dominant

Cette table a été renseignée par les ingénieurs de l'ONEMA. Elle apporte des informations sur la présence actuelle ou historique des espèces « grands migrateurs » :

- grande alose (*ALA*),
- alose feinte (*ALF*),
- anguille (*ANG*),
- flet (*FLE*),
- lamproie marine (*LPM*),
- lamproie de rivière (*LPR*),
- saumon (*SAT*),
- truite de mer (*TRM*).

Pour chaque station (ou par période si des changements récents sont avérés), on précise la présence contemporaine (sur les 10 dernières années) des différentes espèces listées ci-dessus. La présence doit être avérée, c'est-à-dire avoir été mise en évidence par des moyens d'échantillonnage ou d'observation fiables (tout type de piégeage, capture ou observation incluant les suivis de passes à poissons, les opérations de radiopistage, les captures de pêcheurs amateurs ou professionnels...) :

- PresNat : présence connue et recrutement naturel probablement dominant
- PresRep : présence connue mais principalement par repeuplement
- Pres : présence, sans précision
- Abs : absence probable

En ce qui concerne les présences historiques, on évalue la présence naturelle de l'espèce au début du  $xx^e$  siècle (*i.e.* avant les aménagements majeurs des grands cours d'eau), dans le secteur géographique dans lequel se situe la station concernée. On entend par présence potentielle, des observations régulières et en masse ; on ne vise pas, à ce stade de la réflexion, la connaissance complète de la répartition sur tout le réseau hydrographique français, ni les présences marginales ou hypothétiques. On recherche, dans un premier temps, à établir la limite amont (minimale) de remontée de ces espèces sur le cours principal des fleuves et sur leurs affluents de 1<sup>er</sup> (direct) et 2<sup>e</sup> ordre (affluent d'un affluent de 1<sup>er</sup> ordre) :

- Pres : présence historique probable aux environs de la station
- Abs : absence probable aux environs de la station

*Tableau 11 – Descriptif de la table CLC.*

Paramètres	Description
CODST_HYDRO	Champs faisant le lien avec la table station (CODESTA)
CLC_TOT_km2	Superficie du BV amont de la station selon modélisation des débits (km <sup>2</sup> )
CLC_111	Surf. du BV amont « 1.1.1 Tissu urbain continu »
CLC_112	Surf. du BV amont « 1.1.2 Tissu urbain discontinu »
CLC_121	Surf. du BV amont « 1.2.1 Zones industrielles ou commerciales »
CLC_122	Surf. du BV amont « 1.2.2 Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés »
CLC_123	Surf. du BV amont « 1.2.3 Zones portuaires »
CLC_124	Surf. du BV amont « 1.2.4 Aéroports »
CLC_131	Surf. du BV amont « 1.3.1 Extraction de matériaux »
CLC_132	Surf. du BV amont « 1.3.2 Décharges »
CLC_133	Surf. du BV amont « 1.3.3 Chantiers »
CLC_141	Surf. du BV amont « 1.4.1 Espaces verts urbains »
CLC_142	Surf. du BV amont « 1.4.2 Équipements sportifs et de loisirs »
CLC_211	Surf. du BV amont « 2.1.1 Terres arables hors périmètres d'irrigation »
CLC_212	Surf. du BV amont « 2.1.2 Périmètres irrigués en permanence »
CLC_213	Surf. du BV amont « 2.1.3 Rizières »
CLC_221	Surf. du BV amont « 2.2.1 Vignobles »
CLC_222	Surf. du BV amont « 2.2.2 Vergers et petits fruits »
CLC_223	Surf. du BV amont « 2.2.3 Oliveraies »
CLC_231	Surf. du BV amont « 2.3.1 Prairies »
CLC_241	Surf. du BV amont « 2.4.1 Cultures annuelles associées aux cultures permanentes »
CLC_242	Surf. du BV amont « 2.4.2 Systèmes culturaux et parcellaires complexes »
CLC_243	Surf. du BV amont « 2.4.3 Surfaces agricoles, interrompues par des espaces naturels importants »

CLC_244	Surf. du BV amt « 2.4.4 Territoires agroforestiers »
CLC_311	Surf. du BV amt « 3.1.1 Forêts de feuillus »
CLC_312	Surf. du BV amt « 3.1.2 Forêts de conifères »
CLC_313	Surf. du BV amt « 3.1.3 Forêts mélangées »
CLC_321	Surf. du BV amt « 3.2.1 Pelouses et pâturages naturels »
CLC_322	Surf. du BV amt « 3.2.2 Landes et broussailles »
CLC_323	Surf. du BV amt « 3.2.3 Végétation sclérophylle »
CLC_324	Surf. du BV amt « 3.2.4 Forêts et végétation arbustive en mutation »
CLC_331	Surf. du BV amt « 3.3.1 Plages, dunes et sables »
CLC_332	Surf. du BV amt « 3.3.2 Roches nues »
CLC_333	Surf. du BV amt « 3.3.3 Végétation clairsemée »
CLC_334	Surf. du BV amt « 3.3.4 Zones incendiées »
CLC_335	Surf. du BV amt « 3.3.5 Glaciers et neiges éternelles »
CLC_411	Surf. du BV amt « 4.1.1 Marais intérieurs »
CLC_412	Surf. du BV amt « 4.1.2 Tourbières »
CLC_421	Surf. du BV amt « 4.2.1 Marais maritimes »
CLC_422	Surf. du BV amt « 4.2.2 Marais salants »
CLC_423	Surf. du BV amt « 4.2.3 Zones intertidales »
CLC_511	Surf. du BV amt « 5.1.1 Cours et voies d'eau »
CLC_512	Surf. du BV amt « 5.1.2 Plans d'eau »
CLC_521	Surf. du BV amt « 5.2.1 Lagunes littorales »
CLC_522	Surf. du BV amt « 5.2.2. Estuaires »
CLC_523	Surf. du BV amt « 5.2.3. Mers et océans »
CLC_11	Surf. du BV amt « 1.1 Zones urbanisées »
CLC_12	Surf. du BV amt « 1.2 Zones industrielles ou commerciales et réseaux de communication »
CLC_13	Surf. du BV amt « 1.3 Mines, décharges et chantiers »
CLC_14	Surf. du BV amt « 1.4 Espaces verts artificialisés, non agricoles »
CLC_21	Surf. du BV amt « 2.1 Terres arables »
CLC_22	Surf. du BV amt « 2.2 Cultures permanentes »
CLC_23	Surf. du BV amt « 2.3 Prairies »
CLC_24	Surf. du BV amt « 2.4 Zones agricoles hétérogènes »
CLC_31	Surf. du BV amt « 3.1 Forêts »
CLC_32	Surf. du BV amt « 3.2 Milieux à végétation arbustive et/ou herbacée »
CLC_33	Surf. du BV amt « 3.3 Espaces ouverts, sans ou avec peu de végétation »
CLC_41	Surf. du BV amt « 4.1 Zones humides intérieures »
CLC_42	Surf. du BV amt « 4.2 Zones humides maritimes »
CLC_51	Surf. du BV amt « 5.1 Eaux continentales »
CLC_52	Surf. du BV amt « 5.2 Eaux maritimes »
CLC_1	Surf. du BV amt « 1 Territoires artificialisés »
CLC_2	Surf. du BV amt « 2 Territoires agricoles »
CLC_3	Surf. du BV amt « 3 Forêts et milieux semi-naturels »
CLC_4	Surf. du BV amt « 4 Zones humides »
CLC_5	Surf. du BV amt « 5 Surfaces en eau »

Les données Corine Land Cover (CLC) 2000 ont été livrées sous forme d'une valeur de surface du bassin (km<sup>2</sup>) pour la classe la plus détaillée de CLC (3<sup>e</sup> niveau : 44 postes). (cf. document IFEN pour plus d'informations sur la nomenclature Corine Land Cover).

Ces données ont été agrégées à des niveaux de classe 2 puis de classe 1 selon la nomenclature Corinne Land Cover.

L'agrégation au niveau 1 devrait fournir une information suffisante dans le cadre du travail entrepris ici.

*Tableau 12 – Descriptif de la table HYDROLOGIE (source : H. Pella, IRSTEA de Lyon).*

Paramètres	Description
CODST_HYDRO	Champs faisant le lien avec la table station (CODESTA)
SSBV_KM2	Superficie du sous BV unitaire local (km <sup>2</sup> )
SURF_Q	Superficie du BV en amont de la station selon modélisation des débits (km <sup>2</sup> )
DENS_DRAIN	Densité de drainage sur le BV amont (km/km <sup>2</sup> )
PRECAN	Précipitations normales annuelles sur le BV amont (période 1961-1990, modèle AURELHY, Benichou & Le Breton, 1987) (mm)

PREC01	Précipitations normales sur le BV amont en janvier (mm)
PREC02	Précipitations normales sur le BV amont en février (mm)
PREC03	Précipitations normales sur le BV amont en mars (mm)
PREC04	Précipitations normales sur le BV amont en avril (mm)
PREC05	Précipitations normales sur le BV amont en mai (mm)
PREC06	Précipitations normales sur le BV amont en juin (mm)
PREC07	Précipitations normales sur le BV amont en juillet (mm)
PREC08	Précipitations normales sur le BV amont en août (mm)
PREC09	Précipitations normales sur le BV amont en septembre (mm)
PREC10	Précipitations normales sur le BV amont en octobre (mm)
PREC11	Précipitations normales sur le BV amont en novembre (mm)
PREC12	Précipitations normales sur le BV amont en décembre (mm)
MODULE	Débit moyen interannuel (m <sup>3</sup> /s)
LAMEDO_MM	Lame d'eau moyenne écoulée (mm)
Q01	Débit moyen en janvier sur plusieurs années (m <sup>3</sup> /s)
Q02	Débit moyen en février sur plusieurs années (m <sup>3</sup> /s)
Q03	Débit moyen en mars sur plusieurs années (m <sup>3</sup> /s)
Q04	Débit moyen en avril sur plusieurs années (m <sup>3</sup> /s)
Q05	Débit moyen en mai sur plusieurs années (m <sup>3</sup> /s)
Q06	Débit moyen en juin sur plusieurs années (m <sup>3</sup> /s)
Q07	Débit moyen en juillet sur plusieurs années (m <sup>3</sup> /s)
Q08	Débit moyen en août sur plusieurs années (m <sup>3</sup> /s)
Q09	Débit moyen en septembre sur plusieurs années (m <sup>3</sup> /s)
Q10	Débit moyen en octobre sur plusieurs années (m <sup>3</sup> /s)
Q11	Débit moyen en novembre sur plusieurs années (m <sup>3</sup> /s)
Q12	Débit moyen en décembre sur plusieurs années (m <sup>3</sup> /s)

### Précipitations

Pour les mêmes raisons qui nous ont poussés à ne pas utiliser les données thermiques disponibles dans la base de données IPR+ (trop grande ancienneté et période immuable) pour la version V.1 de l'IPR+, et par souci d'homogénéité, il a été décidé de faire de même avec les données de pluviométrie. Là aussi, les données issues des analyses AURELHY (Benichou & Le Breton, 1987) fournies par l'IRSTEA de Lyon et utilisées dans la version V.0 (mai 2011) sont remplacées par des valeurs issues du modèle SAFRAN/France sur une période de 10 ans. La surface du bassin versant amont, nécessaire au calcul des précipitations, est celle utilisée pour le calcul de la température moyenne du BV amont (PREC\_MEAN\_BV\_Y), fournie par le plan de drainage des bassins versants de France métropolitaine développé par les hydrologues de l'IRSTEA d'Antony (Bourgin *et al.*, 2011). Comme la Corse est exclue de ce plan de drainage, les valeurs de précipitations sur le bassin versant seront approchées par celles issues des analyses AURELHY (PRECAN).

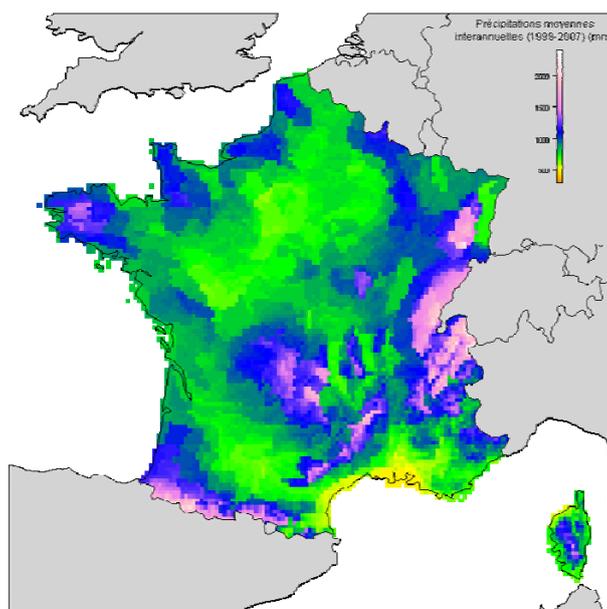


Figure 9 – Précipitations moyennes interannuelles (PREC\_MEAN\_BV\_Y) durant la période 1998-2007, d'après les analyses SAFRAN/France.

Tableau 13 – Descriptif de la table QUALEAULINEAIRE.

Paramètres	Description
CODST_Lin	Code station faisant le lien avec la table station
CORRIG_XY	Statut de validation / correction des XY ayant servi de base au croisement SIG
SOURC	Source et la méthodologie de caractérisation linéaire de la qualité de l'eau
CL_GLOB	Classe de qualité globale (1 à 5) qui tient compte d'au moins 3 des 4 altérations
CL_MOOX	Classe de qualité SEQ (1 à 5) pour les matières organiques et oxydables
CL_AZOT	Classe de qualité SEQ (1 à 5) pour les matières azotées
CL_NITR	Classe de qualité SEQ (1 à 5) pour les nitrates
CL_PHOS	Classe de qualité SEQ (1 à 5) pour les matières phosphorées

Cette table regroupe les données de qualité d'eau linéaires obtenues à partir des données des agences de l'eau. Il s'agit des classes de qualité pour les principales familles de macropolluants estimées à partir d'outils de modélisation. Ces outils de modélisation et l'échelle de calcul sont différents selon les agences : les outils LB et RM&C paraissent relativement comparables et la précision spatiale et les informations fournies correspondent assez bien à notre demande. Pour les autres agences, notamment AG, il faut veiller à une plus grande précaution d'utilisation, compte tenu notamment de la taille des entités considérées pour la linéarisation.

Selon les bassins les sources sont :

- PEG\_RMeuse : modélisation Pégase sur ME de l'agence RM&C ;
- SENEQ\_SN : modélisation Sénèque PIREN SEINE ;
- PEG\_LB : modélisation Pégase de l'agence LB ;
- PEG\_AG\_GME : modélisation Pégase sur les grandes ME de l'agence AG ;
- PEG\_AG\_TPME : modélisation Pégase sur les très petites ME de l'agence AG ;
- MSQ\_RMC : modélisation Mosquiteau de l'agence RM&C. Aucune donnée n'a été transmise pour Artois-Picardie et les données Seine-Normandie sont assez peu satisfaisantes.

Tableau 14 – Descriptif de la table MACROPOLLUANTS.

Paramètres	Description
iAcid8084	Indicateur d'acidification - score (1980-1984)
mAcid8084	Indicateur de l'acidification à partir de la mesure du pH - moyenne (1980-1984)
iMOOX8084	Indicateur des matières organiques et oxydables - score (1980-1984)
mMOOX8084	Indicateur des matières organiques et oxydables - moyenne (1980-1984)
iNitr8084	Indicateur des nutriments azotés - score (1980/1984)
mNitr8084	Indicateur des nutriments azotés - moyenne (1980-1984)
mNitr8589	Indicateur des nutriments azotés - moyenne (1985-1989)
iPhos8084	Indicateur des nutriments phosphorés - score (1980-1984)
mPhos8387	Indicateur des nutriments phosphorés - moyenne (1983-1987)

Les principaux groupes de macropolluants considérés dans le SEQ-Eau sont considérés. Les variables calculées sont :

- i : score SEQ calculé par période de 5 ans (90<sup>e</sup> percentile des indices sur les mesures élémentaires annuelles) ;
- m : moyenne sur 5 ans des scores SEQ calculés sur les mesures élémentaires annuelles (le nombre de mesures prises en compte est indiqué dans la base brut).

Pour la plupart des bassins, le découpage correspond aux périodes suivantes : 1980-1984, 1983-1987, 1988-1992, 1993-1997, 1998-2002 et 2003-2007. Pour les bassins Rhin-Meuse et Seine-Normandie, ce découpage a été adapté aux données disponibles (périodes 1985-1989 et 2002-2006). Les périodes sont indiquées par 4 chiffres où les deux premiers indiquent l'année du début et les deux dernières années de la fin de la période.

8084 : période allant de 1980 à 1984 inclus  
 8387 : période allant de 1983 à 1987 inclus  
 8589 : période allant de 1985 à 1989 inclus  
 8892 : période allant de 1988 à 1992 inclus  
 9397 : période allant de 1993 à 1997 inclus  
 9802 : période allant de 1998 à 2002 inclus  
 0206 : période allant de 2002 à 2006 inclus  
 0307 : période allant de 2003 à 2007 inclus

Ex. : iAcid9397 = score SEQ-Eau V2 pour l'acidification calculée sur la période 1993-1997.

**Tableau 15 – Descriptif de la table MICROPOLLUANTS.**

Paramètres	Description
CODST_MIC	Champs faisant le lien avec la table station (CODESTA)
hap max	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques - classe de qualité maximale sur les années disponibles
hap med	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques - classe de qualité médiane sur les années disponibles
hap moy	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques - classe de qualité moyenne sur les années disponibles
hap10max	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques - classe de qualité maximale sur les 10 années les plus récentes (1997-2006)
hap10med	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques - classe de qualité médiane sur 10 années les plus récentes (1997-2006)
hap10moy	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques - classe de qualité moyenne sur les 10 années les plus récentes (1997-2006)
HAP10BON	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques - classification binaire « Bon (Clas. 1 & 2) / Pas bon (Clas. 3) » selon les critères RNABE sur les 10 années les plus récentes (1997-2006)
HAP_BON	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques - classification binaire « Bon (Clas. 1 & 2) / Pas bon (Clas. 3) » selon les critères RNABE sur l'ensemble des années disponibles
mpmi ans	Micropolluants minéraux - nombre d'années prises disponibles pour le calcul des données intégrées
mpmi max	Micropolluants minéraux - classe de qualité maximale sur les années disponibles
mpmi med	Micropolluants minéraux - classe de qualité médiane sur les années disponibles
mpmi moy	Micropolluants minéraux - classe de qualité moyenne sur les années disponibles
mpmi10max	Micropolluants minéraux - classe de qualité maximale sur les 10 années les plus récentes (1997-2006)
mpmi10med	Micropolluants minéraux - classe médiane sur les 10 années les plus récentes (1997-2006)
mpmi10moy	Micropolluants minéraux - classe de qualité moyenne sur les 10 années les plus récentes (1997-2006)
MPMI10BON	Micropolluants minéraux - classification binaire « Bon (Clas. 1 & 2) / Pas bon (Clas. 3) » selon les critères RNABE sur les 10 années les plus récentes (1997-2006)
MPMI_BON	Micropolluants minéraux - classification binaire « Bon (Clas. 1 & 2) / Pas bon (Clas. 3) » selon les critères RNABE sur l'ensemble des années disponibles
mpor ans	Micropolluants organiques - nombre d'années prises disponibles pour le calcul des données intégrées
mpor max	Micropolluants organiques - classe de qualité maximale sur les années disponibles
mpor med	Micropolluants organiques - classe de qualité médiane sur les années disponibles
mpor moy	Micropolluants organiques - classe de qualité moyenne sur les années disponibles
mpor10max	Micropolluants organiques - classe de qualité maximale sur les 10 années les plus récentes (1997-2006)
mpor10med	Micropolluants organiques - classe médiane sur les 10 années les plus récentes (1997-2006)
mpor10moy	Micropolluants organiques - classe de qualité moyenne sur les 10 années les plus récentes (1997-2006)
MPOR10BON	Micropolluants organiques - classification binaire « Bon (Clas. 1 & 2) / Pas bon (Clas. 3) » selon les critères RNABE sur les 10 années les plus récentes (1997-2006)
MPOR_BON	Micropolluants organiques - classification binaire « Bon (Clas. 1 & 2) / Pas bon (Clas. 3) » selon les critères RNABE sur l'ensemble des années disponibles
pcb ans	Polychlorobiphényles - nombre d'années prises disponibles pour le calcul des données intégrées
pcb max	Polychlorobiphényles - classe de qualité maximale sur les années disponibles
pcb med	Polychlorobiphényles - classe de qualité médiane sur les années disponibles
pcb moy	Polychlorobiphényles - classe de qualité moyenne sur les années disponibles
pcb10max	Polychlorobiphényles - classe de qualité maximale sur les 10 années les plus récentes (1997-2006)
pcb10med	Polychlorobiphényles - classe médiane sur les 10 années les plus récentes (1997-2006)
pcb10moy	Polychlorobiphényles - classe de qualité moyenne sur les 10 années les plus récentes (1997-2006)
PCB10BON	Polychlorobiphényles - classification binaire « Bon (Clas. 1 & 2) / Pas bon (Clas. 3) » selon les critères RNABE sur les 10 années les plus récentes (1997-2006)
PCB_BON	polychlorobiphényles - classification binaire « Bon (Clas. 1 & 2) / Pas bon (Clas. 3) » selon les critères RNABE sur l'ensemble des années disponibles
pest ans	Pesticides - nombre d'années prises disponibles pour le calcul des données intégrées
pest max	Pesticides - classe de qualité maximale sur les années disponibles
pest med	Pesticides - classe de qualité médiane sur les années disponibles
pest moy	Pesticides - classe de qualité moyenne sur les années disponibles
pest10max	Pesticides - classe de qualité maximale sur les 10 années les plus récentes (1997-2006)
pest10med	Pesticides - classe médiane sur les 10 années les plus récentes (1997-2006)
pest10moy	Pesticides - classe de qualité moyenne sur les 10 années les plus récentes (1997-2006)
PEST10BON	Pesticides - classification binaire « Bon (Clas. 1 & 2) / Pas bon (Clas. 3) » selon les critères RNABE sur les 10 années les plus récentes (1997-2006)
PEST_BON	Pesticides - classification binaire « Bon (Clas. 1 & 2) / Pas bon (Clas. 3) » selon les critères RNABE sur l'ensemble des années disponibles

Les paramètres sont décrits par les préfixes suivants :

- hap : pour les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) sur eau brute ;
- mpmi : pour les micropolluants minéraux sur eau brute (arsenic, cadmium, chrome, cuivre, cyanure, étain, mercure, nickel, plomb, zinc) ;
- mpor : pour les micropolluants organiques sur eau brute (différentes molécules) ;
- pcb : pour les polychlorobiphényles sur eau (différentes molécules de PCB) ;
- pest : pour les pesticides sur eau brute (différentes molécules dont atrazine, aldrine, diruon, dieldrine, lindane, DDT, parathion...).

Les variables où la période est prise en compte sont décrites par les suffixes suivants :

- ans : nombre d'années prises disponibles pour le calcul des données intégrées ;
- max : classe de qualité maximale sur les années disponibles ;
- med : classe de qualité médiane sur les années disponibles ;
- moy : classe de qualité moyenne sur les années disponibles ;
- 10max : classe de qualité maximale sur les 10 années les plus récentes (1997-2006) ;
- 10moy : classe de qualité moyenne sur les 10 années les plus récentes (1997-2006) ;
- 10BON : classification binaire « Bon (Clas. 1 & 2) / Pas bon (Clas.  $\geq 3$ ) » selon les critères RNABE sur les 10 années les plus récentes (1997-2006) ;
- BON : classification binaire « Bon (Clas. 1 & 2) / Pas bon (Clas.  $\geq 3$ ) » selon les critères RNABE sur l'ensemble des années disponibles.

## 2.2.2 Tentative de modélisation de la zonation de Huet

Nous avons tenté de modéliser la typologie des cours d'eau de Huet (1954). Il s'agit ici d'optimiser le découpage de la zonation à partir d'une analyse en composantes principales (ACP) des communautés piscicoles. Pour cela, les 23 espèces les plus communes ont été retenues. Les résultats de cette analyse sont ensuite croisés avec le classement en zone de Huet afin d'évaluer le degré de singularité des faunes de chacune des zones. Les classements des sites dans les 4 zones de Huet (truite, ombre, barbeau, brême), issus de la modélisation du graphique des pentes (cf. *supra*), ont été corrigés, au besoin, en tenant compte des avis des experts des différentes DiR (révision des zonations des DiR 2, 5, 7 et 8 effectuée en octobre 2011). Par conséquent, seules les stations pour lesquelles les experts de l'ONEMA ont fourni un jugement ont été conservées.

Tableau 16 – Liste des 23 espèces servant à l'élaboration d'une typologie de cours d'eau.

Nom latin	Code	Nom latin	Code
Alburnoides bipunctatus	SPI	Leuciscus leuciscus	VAN
Alburnus alburnus	ABL	Lota lota	LOT
Anguilla anguilla	ANG	Perca fluviatilis	PER
Barbatula barbatula	LOF	Phoxinus phoxinus	VAI
Barbus barbus	BAF	Pungitius pungitius	EPT
Chondrostoma nasus	HOT	Rhodeus amarus	BOU
Cottus gobio	CHA	Rutilus rutilus	GAR
Esox lucius	BRO	Salmo salar	SAT
Gasterosteus aculeatus	EPI	Salmo trutta	TRF
Gobio gobio	GOU	Telestes souffia	BLN
Lampetra planeri	LPP	Thymallus thymallus	OBR
Leuciscus cephalus	CHE		

Pour effectuer cette modélisation, deux approches ont été envisagées : (1) une approche s'appuyant sur les occurrences observées des 23 espèces et (2) une approche basée sur les probabilités de présences théoriques des ces espèces.

Les données d'observation concernent uniquement les stations IPR+ soumises à peu de pressions anthropiques (classes gp1 et gp2 de l'indice de pressions synthétique global ; cf. § 3.1). Ceci permet de ne pas biaiser l'optimisation de la zonation en considérant des sites dont le peuplement a pu être modifié par l'anthropisation.

Comme on peut le voir sur la figure, la structure en fer à cheval ne permet pas de trouver un axe unique qui permette l'optimisation du découpage de la zonation de Huet. De façon générale, les zones présentent de forts chevauchements. De plus, le positionnement des différentes zones sur le plan factoriel varie beaucoup d'une DiR à l'autre. Les occurrences observées ne permettent donc pas de différencier facilement les zones.

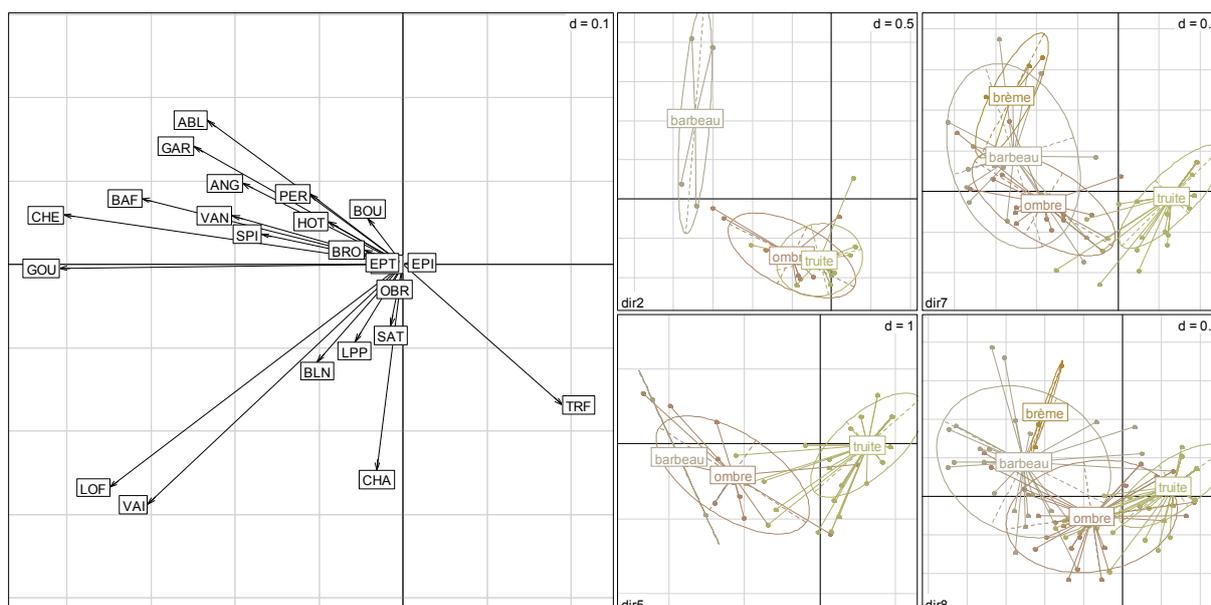
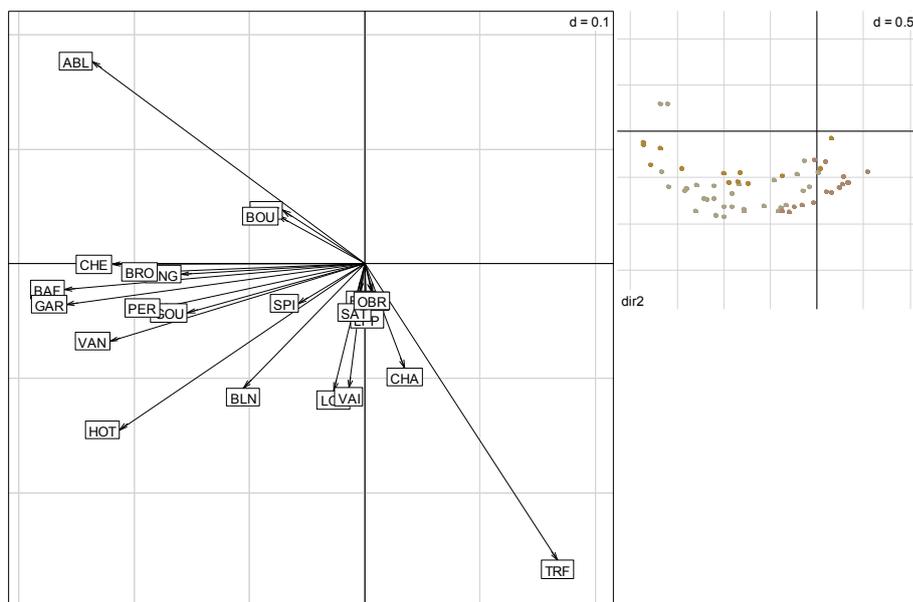


Figure 10 – Cartes factorielles des ACP représentant les stations IPR+ des DiR 2, 5, 7 et 8 soumises à de faibles pressions anthropiques dans l'espace vectoriel  $F1 \times F2$  des occurrences observées de 23 espèces piscicoles (à gauche : carte des espèces ; à droite zones de Huet définies par expertise).

Les probabilités de présences théoriques des 23 espèces ont été calculées en utilisant les modèles de développés par Logez *et al.* (2012a) et Logez *et al.* (2012b). Pour modéliser la présence de chacune de ces espèces, 4 variables sont nécessaires : la surface du BV amont, la température du mois de juillet, l'amplitude thermique entre les mois de juillet et janvier et la puissance hydraulique. Ici, tous les sites pour lesquels les experts ont donné leur jugement ont été considérés, même ceux pour lesquels les pressions anthropiques sont manifestes, car la modélisation fournit une probabilité de présence théorique en l'absence de pression.



Concernant les données prédites, nous pouvons voir que la structure de la zonation varie également d'une DiR à l'autre. La structure de la carte factorielle des sites situés dans le Sud-Est (DiR 8) est particulièrement originale et se détache nettement des autres ; l'organisation se fait principalement sur l'axe 1 pour les DiR 2, 5 et 7, alors qu'elle se fait sur l'axe 2 pour la DiR 8.

Que les DiR soient considérées individuellement ou non, le chevauchement entre zones est très important et ne permet malheureusement pas d'optimiser la classification de Huet à partir des données faunistiques théoriques issues des modèles de probabilité de présence.

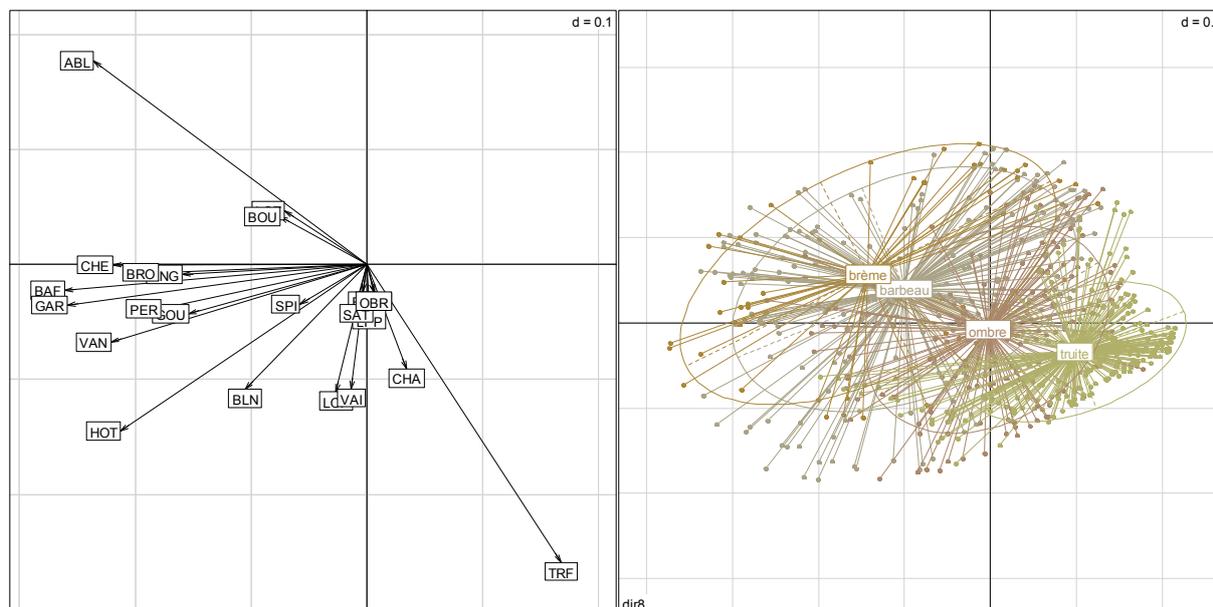


Figure 12 – Carte factorielle de l'ACP représentant les stations IPR+ des DiR 2, 5, 7 et 8 dans l'espace vectoriel F1×F2 des présences théoriques de 23 espèces piscicoles (à gauche : carte des espèces ; à droite zones de Huet définies par expertise). Les stations sont regroupées par zone de Huet pour l'ensemble de la France (à droite).

Suite à cette tentative infructueuse, il a été décidé de se restreindre à la modélisation du graphique des pentes de Huet et donc d'utiliser la variable HUET54.

### 2.2.3 Données manquantes

L'ensemble de données manquantes (NA) pour les 9 tables contenant les données non piscicoles de la base de données sont recensées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 17 – Recensement des données manquantes dans les 9 tables de la base.

Table	Nb. de NA	Nb. total de valeurs	% de NA
STATION	5195	93504	5.6
OPERATION	56947	269040	21.2
EXPERTISE	14152	76960	18.4
MIGRAT	6650	45126	14.7
CLC	135	128568	0.1
HYDROLOGIE	523	60388	0.9
QUALLIN	2183	15584	14.0
MACROPOLLUANTS	88515	126620	69.9
MICROPOLLUANTS	74625	87660	85.1

Les données manquantes sont extrêmement abondantes dans les tables MACROPOLLUANTS et MiCROPOLLUANTS. Pour la table MACROPOLLUANTS, il ne s'agit, en réalité, que d'un artefact dû au fait que les données contenues dans cette table sont gérées par période. Une valeur peut être absente pour une période donnée mais pas pour une autre. Cela n'affecte pas le jeu de données si la pêche étudiée a été effectuée durant la période pour laquelle les données sont disponibles. En revanche, les données MiCROPOLLUANTS ne sont, elles, pas gérées par période ; le nombre important de NA représente, dans ce cas-ci, une réelle lacune dans les données.

Le détail des valeurs manquantes par variable et par table est fourni dans l'annexe 2.

### Révision ultérieure des données

À l'occasion de la définition du jeu de données de « référence », les données correspondantes (sites non/peu perturbés, voir définition ultérieurement) ont fait l'objet d'une révision après avoir été soumises aux avis d'experts des 9 DiR de l'ONEMA (année 2009). Certaines stations ou opérations ont été retirées du jeu de « référence » sur conseil des ingénieurs de l'ONEMA. Par ailleurs, ces mêmes ingénieurs ont également proposé d'ajouter certaines stations ou opérations qui avaient pu être écartées par l'IRSTEA car les données de pressions engendrant ces choix étaient erronées ou incomplètes. Par conséquent certaines données de pressions contenues dans la table EXPERTISE de la base de données ont été modifiées et/ou complétées (notamment les données de périodes permettant la liaison entre la table EXPERTISE et la table OPERATION ou les données de débit réservé). En outre, certaines DiR ont pu compléter certaines valeurs manquantes pour les données de granulométrie et les données concernant les habitats échantillonnés.

Par ailleurs, les données concernant la Basse-Normandie sont, à présent, raccordées à la DiR 1 et non plus à la DiR 2 comme c'était le cas auparavant. Ceci peut expliquer certaines modifications dans les tableaux présentés — qui pourraient être perçues comme étant incohérentes —, entre les données contenues dans ce document et celles présentées dans le document antérieur de juin 2009 traitant de la sélection des sites de « calibration » de l'IPR+ (ipr\_database\_sites\_calibration\_20090618.doc) (e.g. l'augmentation du nombre de données manquantes pour la DiR 1 entre les mois de juin et de novembre 2009).

Dans un souci de stabilité de la base de données, il faut noter que les codes provisoires des stations (contenant des dièses) ont été conservés à l'heure d'aujourd'hui. Étant donné le fait que les données contenues dans la base IPR+ ne seront plus modifiées à l'avenir, il est prévu de remplacer tous les codes provisoires par les codes définitifs — l'ONEMA doit nous faire parvenir les correspondances.

Autant que faire se peut, les principales données importantes manquantes, à savoir l'habitat échantillonné (table EXPERTISE, HAB\_ECH : échantillonnage ou non des annexes fluviales) et l'information sur le débit réservé (table EXPERTISE, HydroQres), ont été complétées par les DiR lorsque ces informations étaient incomplètes.

Tableau 18 – Répartition par DiR des opérations où HAB\_ECH est manquant.

Date	DiR1	DiR2	DiR3	DiR4	DiR5	DiR6	DiR7	DiR8	DiR9
Juin 2009	0	0	0	24	0	0	3	0	651
Nov. 2009	0	0	0	24	0	0	0	0	234

Tableau 19 – Répartition par DiR des stations où HydroQres est manquant.

Date	DiR1	DiR2	DiR3	DiR4	DiR5	DiR6	DiR7	DiR8	DiR9
Juin 2009	0	0	0	139	1	2	5	0	15
Nov. 2009	0	0	0	0	0	2	0	0	15

Par ailleurs, les données de température manquantes dans la base de données pour la Corse (valeur = 0 pour janvier et juillet) ont été complétées par l'IRSTEA, à l'aide des données climatiques Tyndall (<http://www.tyndall.ac.uk/>). Les nouvelles valeurs correspondent aux moyennes des températures des mois de janvier et de juillet, calculées sur la période de 30 ans s'étalant de 1961 à 1990.

## 2.3 Données piscicoles

La structure de la table type contenant les informations piscicoles pour chaque DiR est présentée ci-dessous, avec un commentaire sur l'absence éventuelle de données (NA).

Tableau 20 – Descriptif des tables POIS\_DRX (une table par DiR).

Variable	Description	Nb. de NA
ACT_MARQ	Action de marquage-recapture	
AGE	Âge du poisson	
ESPOI	Espèce de poisson	DR5 : 1 valeur
LIB30	Code du sexe	
LIB31	Code de maturité sexuelle	
LIB35	Estimation du poids	
NUMPOIS	Identifiant national du poisson (?)	
OPCOD	Code opération	
POEFF	Effectif	
POIDL	Code unique par opération identifiant l'ensemble des poissons d'un lot I ou S/L	Important
POLMI	Taille des individus d'un lot N ou taille minimale du lot	
POLMX	Taille maximal du lot (-9 pour les lots de type N)	
POLOC		
POLOT	Type de lot	
POMQG	Code identifiant la marque	
PONUM	Numéro de code de la marque	Important
POPAS	Numéro du passage (run)	
POPDS	Poids du lot	
POPTH	Code de la pathologie	
POTPL	Type de longueur (T = totale, F = fourche)	
ZONEAMA	Référence de la zone de capture	

Toutes les informations suivantes concernent uniquement les poissons. Les écrevisses (codées : APP, ASA, ASL, OCL et PFL) sont éliminées du jeu de données.

### 2.3.1 Traitement des lots

Les 9 tables « poissons » correspondant aux données piscicoles des 9 délégations interrégionales de l'ONEMA comportent 4 types de lots de poissons : N, I, G, S et L (S et L se rapportant aux mêmes données).

**Les lots de type N** correspondent à un individu unique dont la taille et le poids ont été mesurés ou estimés. Au sein du jeu de données, la taille de l'individu est mentionnée dans la colonne POLMI (correspondant normalement à la taille minimale du lot), le champ POLMX (correspondant normalement à la taille maximale du lot) doit être renseigné comme étant égal à -9 et le champ POEFF (correspondant à l'effectif) doit être égal à 1.

**Les lots de type I** sont renseignés de la même manière que les lots de type N (hormis POEFF = 0, sauf pour la dernière ligne).

**Les lots de type G** sont des lots comprenant plusieurs individus (POEFF > 1) où les champs POLMI et POLMX doivent être renseignés.

**Les lots de types S et L** apportent des renseignements sur les mêmes lots de poissons pêchés. Les lots L comportent les mêmes informations que les lots G. Les lots S correspondent à un sous-échantillon des lots L et comportent les mêmes informations que des lots N ou I. C'est-à-dire que le nombre de lignes d'une opération notée S est inférieur ou égal à l'effectif (POEFF) renseigné pour le lot L correspondant.

Concernant la reconstitution des lots, pour des raisons de simplicité et de clarté, il a été décidé de ne pas appliquer exactement les mêmes méthodes que celles employées habituellement par l'ONEMA.

Ici, les tailles des poissons ne sont pas affectées à des classes de tailles. C'est-à-dire qu'un individu correspondant à un lot N, par exemple, et de taille (POLMI) de 123 mm, ne sera pas affecté à la classe [120 ; 130[ (les classes créées habituellement vont de dix en dix millimètres), mais conservera sa véritable mesure.

L'ONEMA reconstitue les lots G en répartissant les effectifs de manière uniforme au sein de classes allant de dix en dix millimètres entre les bornes minimales et maximales des lots (et en répartissant les individus supplémentaires, s'il y en a, autour du mode de la distribution). Cette méthode a pour

avantage d'être très simple, cependant, rien ne laisse à penser, *a priori*, que la distribution des individus d'un lot se fasse de manière homogène.

Partant du principe qu'au sein d'un lot, il y a d'avantage d'individus au centre de la distribution et que nous ne connaissons par leur distribution exacte, nous avons comparé les résultats obtenus avec la méthode habituelle — c'est-à-dire une répartition quasi uniforme — et un tirage aléatoire au sein d'une distribution normale tronquée. Cette loi présente les paramètres suivants :

$$\begin{cases} \mu = \frac{(\text{POLMX} + \text{POLMI})}{2} \\ \sigma = \frac{(\text{POLMX} - \text{POLMI})}{6} \end{cases}$$

Les valeurs sont tirées aléatoirement dans l'intervalle [POLMI ; POLMX] et ne sont pas affectées à des classes de tailles, mais sont conservées à l'état brut.

Pour évaluer les deux méthodes, à savoir la répartition quasi-uniforme et le tirage aléatoire au sein d'une distribution normale tronquée, nous avons comparé les distributions obtenues par ces deux méthodes sur les lots L avec celle obtenue avec les lots S associés. Ici, pour les besoins de la comparaison, les données de tailles obtenues par tirage aléatoire au sein de la loi normale tronquée sont affectées à des classes de tailles. On calcule alors les distances de  $\chi^2$  entre les deux distributions et celle du sous échantillon des lots S.

Dans la grande majorité des cas, la méthode de la loi normale tronquée donne de meilleurs résultats que la méthode de la répartition quasi-uniforme (e.g. figure ci-dessous). Il faut cependant garder en tête que la distribution issue des lots S n'est pas la distribution réelle, mais seulement celle d'un sous échantillon dont on ne connaît pas véritablement la représentativité. Cette comparaison présente donc des limites et est à prendre avec précaution.

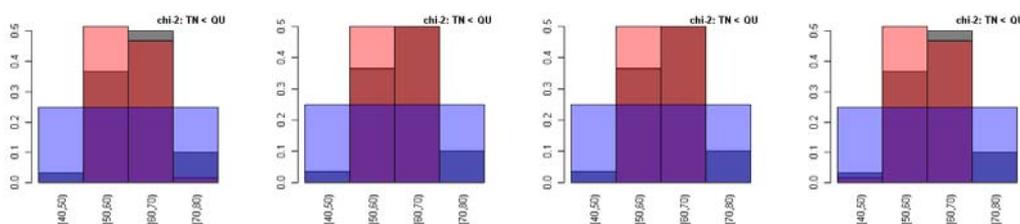


Figure 13 – Exemples de distributions de lots S (en gris) de gardons et reconstitutions à partir du lot L associé par tirage aléatoire au sein d'une loi normale tronquée (TN : en rose) ou par répartition quasi-uniforme (QU : en bleu).

Par ailleurs, nous ne tenons pas compte des lots S. La méthode de l'ONEMA est d'affecter les lots S dans des classes de tailles et d'appliquer, par la suite, une règle de trois avec les effectifs du lot L correspondant (les lots S représentant un sous échantillon d'un lot L donné permettant d'estimer les tailles minimale et maximale). Rien ne prouvant (comme dit plus haut) que la distribution en classes de tailles des lots S soit représentative de celle du lot L associé, nous préférons ne pas tenir compte de cette information et nous nous servons donc uniquement des informations du lot L pour redistribuer le lot. Nous appliquons donc aux lots L la même méthode que pour les lots G. La différence entre un lot L et un lot G est que les *extremums* de tailles de poissons sont estimés (par le sous échantillon correspondant aux lots S) pour le lot L et qu'ils représentent des valeurs exactes mesurées pour le lot G.

### Anomalies constatées dans les différents types de lots

Pendant cette opération, de nombreuses anomalies ont été constatées pour les différents types de lots. Ces anomalies, qui ont été corrigées sont détaillées en annexe 3, afin de permettre au besoin une correction de la base de données initiale de l'ONEMA.

## 2.3.2 Standardisation des longueurs

Lors de certaines opérations de pêche, les agents de l'ONEMA ont effectué des mesures de la longueur fourche (LF) des poissons et non de leurs longueurs totales (LT). Pour homogénéiser les données, afin de pouvoir les analyser convenablement, nous avons appliqué un correctif dans le but de transformer les LF en LT. On a donc :

$$LT = FtoTcoef \times LF + FtoTcons$$

Par ailleurs, si des tailles de poissons sont aberrantes, c'est-à-dire qu'elles ne sont pas incluses entre des bornes minimales (Min) et maximales (MaxSizeFdB plus 10 % d'erreur), nous remplaçons la valeur :

- par la médiane pour les lots N et I ou si la longueur est inférieure à 15 mm ;
- par la valeur minimale ou maximale, selon le cas, pour l'espèce (pour l'ensemble des données) pour les lots L et G.

Les bornes maximales sont celles recensées dans FishBase (<http://www.fishbase.org>), hormis pour EST, PES et SIL où les valeurs ont été fixées après consultation de G. Carrel (IRSTEA d'Aix-en-Provence). Les bornes minimales ont été choisies après consultations de G. Carrel, C. Taverny (IRSTEA de Bordeaux) et É. Tales (IRSTEA d'Antony).

Les valeurs FtoTcoef, FtoTcons, Min et MaxSizeFdB sont mentionnées, pour chacune des espèces, dans le tableau ci-après.

*Tableau 21 – Tailles minimales et maximales recensées pour chaque espèce, et coefficients de conversion des LF en LT.*

Nom latin	Nom vernaculaire	Code	FtoTcoef	FtoTcons	MaxSizeFdB	Min
Leucaspis delineatus	Able de Heckel	ABH	1.059	0	120	25
Alburnus alburnus	Ablette	ABL	1.046	0	250	20
Alosa alosa	Grande alose	ALA	1.094	0	830	25
Alosa fallax fallax	Alose feinte	ALF	1.127	0	600	25
Alosa fallax rhodanensis	Alose feinte du Rhône	ALR	1.127	0	600	25
Engraulis encrasicolus	Anchois	ANC	-999.000	0	200	-999
Anguilla anguilla	Anguille	ANG	1.000	0	1330	60
Aphanius fasciatus	Aphanius de Corse	APC	-999.000	0	60	25
Aphanius iberus	Aphanius d'Espagne	APE	-999.000	0	40	25
Aphia minuta	Aphia	APH	-999.000	0	79	-999
Austropotamobius pallipes	Écrevisse à pieds blancs	APP	-999.000	0	-999	-999
Zingel asper	Apron	APR	1.000	0	220	25
Astacus astacus	Écrevisse à pieds rouges	ASA	-999.000	0	-999	-999
Astacus leptodactylus	Écrevisse à pieds grêles	ASL	-999.000	0	-999	-999
Aspius aspius	Aspe	ASP	1.108	0	1000	25
Atherina boyeri	Athérine de boyer	ATB	-999.000	0	200	25
Atherina presbyter	Athérine prêtre	ATH	1.102	0	200	25
Barbus barbus	Barbeau fluviatile	BAF	1.075	0	1200	25
Barbus meridionalis	Barbeau méridional	BAM	1.038	0	500	25
Micropterus salmoides	Black bass à grande bouche	BBG	1.029	0	970	25
Micropterus dolomieu	Black bass à petite bouche	BBP	-999.000	0	690	25
Blennius fluviatilis	Blennie	BLE	1.000	0	150	25
Leuciscus (Telestes) soufia	Blageon	BLN	1.077	0	250	25
Rhodeus amarus	Bouvière	BOU	1.097	0	110	20
Blicca bjoerkna	Brème bordelière	BRB	1.121	0	360	25
Abramis sapa	Brème du Danube	BRD	-999.000	0	350	25
Abramis brama	Brème	BRE	1.149	0	820	25
Hybrid	Hybride brème-gardon	BRG	1.124	0	-999	25
Esox lucius	Brochet	BRO	1.075	0	1473	25
Carassius auratus	Carassin doré ou argenté	CAA	1.067	0	590	25
Carassius auratus auratus	Carassin doré	CAD	-999.000	0	590	25
Carassius auratus gibelio	Carassin argenté	CAG	1.041	0	450	25
Hypophthalmichthys molitrix	Carpe argentée	CAR	1.103	0	1100	25
Carassius carassius	Carassin	CAS	1.039	0	640	25
Cyprinus carpio	Carpe commune	CCO	1.118	0	1200	25
Cyprinus carpio	Carpe cuir	CCU	1.118	0	1200	25
Ambloplites rupestris	Crapet de roche	CDR	1.000	0	430	25
Conger conger	Congre	CGR	-999.000	0	3000	-999
Aristichthys nobilis	Carpe à grosse tête	CGT	-999.000	0	1120	-999
Cottus gobio	Chabot	CHA	1.000	0	180	20
Leuciscus cephalus	Chevaine	CHE	1.063	0	750	25
Cottus petiti	Chabot du Lez	CHP	-999.000	0	-999	25

Cyprinus carpio	Carpe miroir	CMI	1.118	0	1200	25
Coregonus sp.	Corégone	COR	-999.000	0	-999	25
Valencia hispanica	Cyprinodonte de Valence	CPV	-999.000	0	80	25
Salvelinus namaycush	Cristivomer	CRI	-999.000	0	1500	25
Ctenopharyngodon idella	Amour blanc	CTI	-999.000	0	1500	25
Cyprinidae	Juvenile de cyprinidés	CYP	1.083	0	-999	15
Osmerus eperlanus	Éperlan	EPE	-999.000	0	450	25
Gasterosteus aculeatus	Épinoche	EPI	1.000	0	110	25
Pungitius pungitius	Épinochette	EPT	1.000	0	90	25
Acipenser sturio	Esturgeon commun	EST	-999.000	0	3000	25
Platichthys flesus	Flet	FLE	1.000	0	600	25
Gambusia affinis	Gambusie	GAM	1.000	0	60	25
Rutilus rutilus	Gardon	GAR	1.102	0	460	25
Gobius niger	Gobie noir	GBN	-999.000	0	180	25
Pomatoschistus minutus	Gobie	GOB	1.000	0	110	25
Pholis gunnellus	Gonelle	GON	-999.000	0	250	-999
Gobio gobio	Goujon	GOU	1.046	0	200	25
Gymnocephalus cernua	Grémille	GRE	1.115	0	250	25
Clupea harengus	Hareng	HAR	-999.000	0	450	-999
Chondrostoma nasus	Hotu	HOT	1.078	0	600	25
Hucho hucho	Huchon	HUC	-999.000	0	1500	25
Hybrid	Hybrides de cyprinidés	HYC	-999.000	0	-999	25
Leuciscus idus	Ide mélanote	IDE	1.139	0	760	25
Ammodytes sp.	Lançon	LAN	-999.000	0	-999	-999
Pollachius pollachius	Lieu jaune	LIJ	-999.000	0	1300	-999
Liparis montagui	Liparis	LIP	-999.000	0	120	-999
Misgurnus fossilis	Loche d'étang	LOE	-999.000	0	300	25
Nemacheilus barbatulus	Loche franche	LOF	1.000	0	210	25
Dicentrarchus punctatus	Bar moucheté	LOM	-999.000	0	700	25
Cobitis taenia	Loche de rivière	LOR	1.000	0	135	25
Lota lota	Lote de rivière	LOT	1.000	0	1520	25
Dicentrarchus labrax	Bar	LOU	1.064	0	1030	25
Petromyzon marinus	Lamproie marine	LPM	1.000	0	1200	50
Lampetra planeri	Lamproie de planer	LPP	1.000	0	200	50
Lampetra fluviatilis	Lamproie de rivière	LPR	1.000	0	500	50
Lamproie sp	Lamproie	LPX	1.000	0	-999	20
Argyrosomus regius	Maigre	MAI	-999.000	0	2300	-999
Merlangius merlangus	Merlan	MER	-999.000	0	700	-999
Chelon labrosus	Mulet à grosses lèvres	MGL	1.105	0	750	25
Ciliata mustela	Motelle	MOT	-999.000	0	250	-999
Mugil cephalus	Mulet cabot	MUC	1.066	0	1200	25
Liza aurata	Mulet doré	MUD	1.097	0	590	25
Liza ramada	Mulet porc	MUP	1.070	0	700	25
Salvelinus alpinus	Omble chevalier	OBL	1.046	0	1070	25
Thymallus thymallus	Ombre commun	OBR	1.055	0	600	25
Orconectes limosus	Écrevisse américaine	OCL	-999.000	0	-999	-999
Pachychilon pictum	Épirine lippue	PAP	1.079	0	200	25
Procambarus clarkii	Écrevisse de Louisiane	PCC	-999.000	0	-999	-999
Ictalurus melas	Poisson chat	PCH	1.008	0	660	25
Perca fluviatilis	Perche	PER	1.070	0	510	25
Lepomis gibbosus	Perche soleil	PES	1.000	0	250	20
Pacifastacus leniusculus	Écrevisse signal	PFL	-999.000	0	-999	-999
Pimephales promelas	Tête de boule	PIM	-999.000	0	100	-999
Pleuronectes platessa	Plie	PLI	1.000	0	1000	25
Pseudorasbora parva	Pseudorasbora	PSR	1.063	0	110	25
Raja clavata	Raie bouclée	RBC	-999.000	0	1200	-999
Scardinius erythrophthalmus	Rotengle	ROT	1.083	0	510	25
Rutilus rubilio	Gardon italien	RUB	-999.000	0	250	25
Stizostedion lucioperca	Sandre	SAN	1.049	0	1300	25
Sardina pilchardus	Sardine	SAR	-999.000	0	250	-999
Salmo salar	Saumon atlantique	SAT	1.025	0	1500	20
Oncorhynchus tshawytscha	Saumon chinook	SCH	-999.000	0	1500	25
Oncorhynchus kisutch	Saumon coho	SCO	-999.000	0	1080	-999
Salvelinus fontinalis	Saumon de fontaine	SDF	1.012	0	860	25
Silurus glanis	Silure glane	SIL	1.000	0	3000	25
Solea solea	Sole	SOL	-999.000	0	700	-999
Alburnoides bipunctatus	Spiralin	SPI	1.109	0	160	25
Sprattus sprattus	Sprat	SPT	-999.000	0	160	-999
Syngnathus sp.	Syngnathe	SYN	-999.000	0	-999	-999
Oncorhynchus mykiss	Truite arc-en-ciel	TAC	1.147	0	1200	20
Trisopterus luscus	Tacaud	TAD	-999.000	0	-999	-999
Tinca tinca	Tanche	TAN	1.024	0	700	25
Chondrostoma toxostoma	Toxostome	TOX	1.000	0	300	25
Salmo trutta macrostigma	Truite de Corse	TRC	1.002	12.2148	600	20

Salmo trutta fario	Truite de rivière	TRF	1.002	12.2148	1000	20
Salmo trutta lacustris	Truite de lac	TRL	-999.000	0	1400	20
Salmo trutta trutta	Truite de mer	TRM	1.037	0	1400	20
Umbra pygmaea	Umbre pygmée	UMP	-999.000	0	115	25
Phoxinus phoxinus	Vairon	VAI	1.062	0	140	20
Leuciscus leuciscus	Vandoise	VAN	1.088	0	400	25
Leuciscus leuciscus burdigalensis	Vandoise rostrée	VAR	-999.000	0	-999	25
Vimba vimba	Vimbe	VIM	-999.000	0	500	25

### 2.3.3 Estimation des effectifs de juvéniles de truites

Afin de construire une métrique « classe de tailles truite », il convient de pouvoir identifier les juvéniles de l'année (0+) des individus appartenant à d'autres classes de tailles. Pour ce faire, on fait appel aux modèles de Logez & Pont (2011) qui utilisent 4 variables environnementales : la surface du bassin drainé en amont de la station (BV\_FINAL), la géologie dominante sur le bassin versant en amont (GEOL1), l'amplitude thermique maximale au niveau de la station de pêche (TEMP\_AMPL\_STA\_Y) et le nombre de jours depuis début de l'année JOUR). Ce modèle prédit la taille théorique maximale des 0+ de truites en fonction de l'environnement.

Ici, toutes les sous-espèces de truites (TRF, TRC, TRL, TRM) sont considérées et regroupées ensemble. Pour chaque opération de pêche, le modèle retourne donc une valeur seuil correspondant à la taille maximale théorique des 0+ de l'échantillon. Afin d'éviter les valeurs aberrantes, et comme il n'est pas envisageable de vérifier chacune des distributions de truites lors d'une automatisation du calcul, la taille maximale possible pour les 0+ a été fixée à 150 mm.

Une fois la taille maximale théorique des 0+ estimée, on peut enregistrer l'abondance des juvéniles de truites dans la variable TRF0plus.

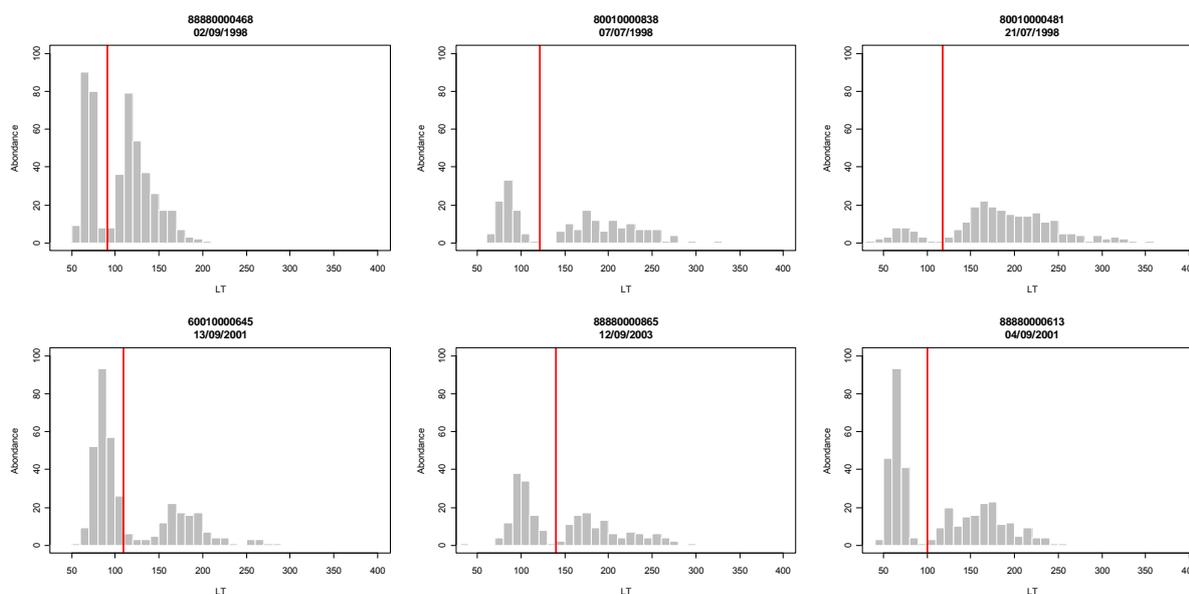


Figure 14 – Exemple de distributions de classes de tailles de truites pour 6 opérations de pêche de la base de données IPR+. En rouge : taille théorique maximale des juvéniles (0+) de truites d'après le modèle de Logez & Pont (2011).

### 2.3.4 Estimation des biomasses individuelles

Les paramètres allométriques permettant de calculer les biomasses ont été repris du projet EFI+ (2009). Les relations taille-poids ont été vérifiées à l'aide de données fournies par G. Carrel (communication personnelle), données essentiellement recueillies sur des individus pêchés sur le Rhône. En cas de divergences fortes, les valeurs ont été remplacées par celles issues de FishBase (Froese & Pauly, 2010) qui étaient les plus cohérentes avec celles fournies par l'IRSTEA d'Aix-en-Provence.

La croissance est classiquement évaluée par mesure de la longueur totale (LT) pour quantifier la croissance axiale et du poids (W) pour la croissance corporelle « volumique ». Ces deux variables hautement corrélées sont reliées selon une loi puissance de type  $W = a.LT^b$  avec b le plus souvent compris entre 2 et 4.

Tableau 22 – Paramètres de la relation allométriques reliant la longueur totale et le poids pour l'ensemble des espèces de poissons de la base de données IPR+.

Espèce	Code	a	b	Espèce	Code	a	b
Abramis brama	BRE	0.007000	3.110000	Lampetra sp	LPX	0.001600	3.000000
Abramis sapa	BRD	0.010206	2.991536	Lepomis gibbosus	PES	0.016200	3.199000
Acipenser sturio	EST	0.015500	2.823000	Leucaspis delineatus	ABH	0.010288	2.948996
Alburnoides bipunctatus	SPI	0.010300	3.251000	Leuciscus cephalus	CHE	0.007000	3.156400
Alburnus alburnus	ABL	0.007300	3.012100	Leuciscus idus	IDE	0.007300	3.183800
Alosa alosa	ALA	0.007500	3.045000	Leuciscus leuciscus	VAR	0.007100	3.128700
Alosa fallax	ALR	0.007500	3.045000	Leuciscus leuciscus	VAN	0.007100	3.128700
Alosa fallax	ALF	0.007500	3.045000	Leuciscus souffia	BLN	0.007451	3.062600
Ambloplites rupestris	CDR	0.005200	3.238200	Liza aurata	MUD	0.010056	2.988244
Ameiurus melas	PCH	0.010400	3.062000	Liza ramada	MUP	0.010056	2.988244
Anguilla anguilla	ANG	0.001600	3.000000	Lota lota	LOT	0.010700	2.913000
Aphanius fasciatus	APC	0.010056	2.988244	Micropterus dolomieu	BBP	0.010056	2.988244
Aphanius iberus	APE	0.010056	2.988244	Micropterus salmoides	BBG	0.013200	3.115000
Aspius aspius	ASP	0.007200	3.042400	Misgurnus fossilis	LOE	0.009800	2.795100
Atherina boyeri	ATB	0.005800	3.260000	Mugil cephalus	MUC	0.010056	2.988244
Atherina presbyter	ATH	0.006900	3.000000	Oncorhynchus kisutch	SCO	0.011200	3.000000
Barbatula barbatula	LOF	0.008200	2.975000	Oncorhynchus mykiss	TAC	0.010553	2.979577
Barbus barbus	BAF	0.021700	3.000000	Oncorhynchus tshawytscha	SCH	0.013300	3.000000
Barbus meridionalis	BAM	0.009000	3.121000	Osmerus eperlanus	EPE	0.003500	2.988244
Blicca bjoerkna	BRB	0.010700	3.076100	Pachychilon pictum	PAP	0.010056	2.988244
Carassius auratus	CAA	0.014900	3.047000	Perca fluviatilis	PER	0.010200	3.105900
Carassius auratus	CAD	0.014900	3.047000	Petromyzon marinus	LPM	0.000800	3.196000
Carassius carassius	CAS	0.014900	3.047000	Phoxinus phoxinus	VAI	0.010700	3.000000
Carassius gibelio	CAG	0.014900	3.047000	Platichthys flesus	FLE	0.022000	2.830000
Chelon labrosus	MGL	0.010056	2.988244	Pleuronectes platessa	PLI	0.011000	3.009000
Chondrostoma nasus	HOT	0.007338	3.086106	Pomatoschistus minutus	GOB	0.002505	3.334413
Chondrostoma toxostoma	TOX	0.010056	2.988244	Pseudorasbora parva	PSR	0.009800	3.010000
Cobitis taenia	LOR	0.004400	3.222000	Pungitius pungitius	EPT	0.005676	2.988244
Cottus gobio	CHA	0.006600	3.304000	Rhodeus amarus	BOU	0.009700	3.035000
Cottus petiti	CHP	0.002505	3.334413	Rutilus rubilio	RUB	0.010056	2.988244
Ctenopharyngodon idella	CTI	0.012100	3.002000	Rutilus rutilus	GAR	0.007400	3.140000
Cyprinidae sp	CYP	0.010056	2.988244	Salaria fluviatilis	BLE	0.012200	2.986000
Cyprinus carpio	CCU	0.011600	3.025000	Salmo salar	SAT	0.009200	3.000000
Cyprinus carpio	CMI	0.011600	3.025000	Salmo trutta fario	TRF	0.010056	2.988244
Cyprinus carpio	CCO	0.011600	3.025000	Salmo trutta lacustris	TRL	0.010701	2.946495
Dicentrarchus labrax	LOU	0.010056	2.988244	Salmo trutta macrostigma	TRC	0.010056	2.988244
Dicentrarchus punctatus	LOM	0.010056	2.988244	Salmo trutta trutta	TRM	0.010700	2.996000
Esox lucius	BRO	0.006000	3.030000	Salvelinus alpinus	OBL	0.004077	3.248124
Gambusia affinis	GAM	0.010100	3.006000	Salvelinus fontinalis	SDF	0.011200	2.990000
Gasterosteus aculeatus	EPI	0.009400	3.000000	Salvelinus namaycush	CRI	0.010056	2.988244
Gobio gobio	GOU	0.009200	3.010000	Sander lucioperca	SAN	0.007600	3.040000
Gobius niger	GBN	0.002505	3.334413	Scardinius erythrophthalmus	ROT	0.007800	3.210000
Gymnocephalus cernuus	GRE	0.124000	2.939000	Silurus glanis	SIL	0.055000	2.600000
Hucho hucho	HUC	0.004850	3.198373	Thymallus thymallus	OBR	0.005505	3.134354
Hybrid	HYC	0.010056	2.988244	Tinca tinca	TAN	0.011600	3.000000
Hybrid	BRG	0.010056	2.988244	Umbrina pygmaea	UMP	0.008043	2.988244
Hypophthalmichthys molitrix	CAR	0.005200	3.238200	Valencia hispanica	CPV	0.010056	2.988244
Lampetra fluviatilis	LPR	0.001900	3.000000	Vimba vimba	VIM	0.013400	3.000000
Lampetra planeri	LPP	0.001700	3.000000	Zingel asper	APR	0.002505	3.334413

## 2.4 Constitution d'une « super-table » OPERATION

Afin de pouvoir manipuler au mieux les données, nous avons décidé de regrouper dans une seule et unique « super-table » les informations contenues dans les tables non piscicoles à savoir les données contenues dans les tables : STATION, OPERATION, EXPERTISE, MIGRATEUR, HYDROLOGIE, QUALEAULINEAIRE, MACRO-POLLUANTS et MICROPOLLUANTS.

Cette « super-table » est ajoutée aux tables précédentes dans la base.

Les données contenues dans les tables EXPERTISE, MIGRATEUR et MACROPOLLUANTS étant rattachées à des périodes (contrairement aux autres tables qui sont rattachées à une date), la création de cette nouvelle table a demandé une importante remise en forme des données.

## 2.4.1 Tables EXPERTISE et MIGRATEUR

Les tables EXPERTISE et MIGRATEUR répondant au même format des données — à une station sont associées les informations *via* une ou plusieurs périodes —, le remaniement est le même pour ces deux tables. On dédouble l'information pour la rattacher à l'année et non plus à une période. Les données sur les pressions anthropiques et sur les migrants sont donc répétées pour toutes les années contenues dans une période donnée.

Ex : station A et période 1983-1987 ; 2000-2002, on aura :

A 1983 → informations 1983-1987  
 A 1984 → informations 1983-1987  
 A 1985 → informations 1983-1987  
 A 1986 → informations 1983-1987  
 A 1987 → informations 1983-1987  
 A 2000 → informations 2000-2002  
 A 2001 → informations 2000-2002  
 A 2002 → informations 2000-2002

Après rattachement des informations de la table EXPERTISE à l'échelle de l'année et corrections des périodes par les DiR, l'on s'aperçoit que dans de rares cas (seulement 3 stations dans la DiR 4 contre 7 stations dans les DiR 4 et 7 auparavant), une année est attachée à plusieurs périodes (ex : 2003 pour des périodes 2001-2003 et 2003-2004). Dans ces cas on relie arbitrairement cette année à la période la plus récente. Ce problème n'existe pas avec la table Migrateur.

Par ailleurs certaines stations sont absentes des tables EXPERTISE et MIGRATEUR (la plupart le sont dans les deux cas).

Après jointure de la table EXPERTISE, on conserve donc :

- 1 948 stations ;
- 11 143 opérations (soit 67 opérations non joignables, contre 795 avant révision des données).

*Tableau 23 – Répartition par DiR des opérations absentes de la table EXPERTISE.*

Date	DiR1	DiR2	DiR3	DiR4	DiR5	DiR6	DiR7	DiR8	DiR9
Juin 2009	0	576	60	137	0	2	19	1	0
Nov. 2009	5	0	60	0	0	2	0	0	0

Après jointure de la table MIGRATEUR, on conserve :

- 1 948 stations ;
- 11 119 opérations (soit 91 opérations non joignables, contre 821 auparavant, et dont 67 sont les mêmes que pour EXPERTISE, soit 24 de plus).

*Tableau 24 – Répartition par DiR des stations absentes de la table MIGRATEUR.*

Date	DiR1	DiR2	DiR3	DiR4	DiR5	DiR6	DiR7	DiR8	DiR9
Juin 2009	0	576	84	137	0	2	20	2	0
Nov. 2009	5	0	84	0	0	2	0	0	0

## 2.4.2 Table MACROPOLLUANTS

Dans un souci de qualité et d'homogénéité des données, à ce stade, il a été décidé de ne s'intéresser plus qu'aux opérations de pêches de 1998 à 2007 (inclues).

La donnée disponible par périodes chevauchantes (de 5 ans de 1980 à 2007) a été synthétisée pour chaque polluant en une seule variable. Nous avons conservé uniquement les valeurs pour les périodes non chevauchantes 1998-2002 et 2003-2007. Et comme pour les tables EXPERTISE et

MIGRATEUR, nous avons rattaché ces données à l'année des opérations de pêche. On ne conserve donc que 3 variables iMOOX, iNitr, iPhos, pour lesquelles, les valeurs de SEQ sont transformées en classes.

Tableau 25 – Limites des classes des valeurs de SEQ pour iMOOX, iNitr et iPhos.

Variable	1	2	3	4	5
iMOOX	> 80	80 – 60	60 – 40	40 – 20	≤ 20
iNitr	> 64	64 – 62.5	≤ 62.5		
iPhos	> 80	80 – 60	60 – 40	40 – 20	≤ 20

À ce stade, la « super-table » OPERATION compte 7 664 opérations pour 1 684 stations (contre 7 272 opérations pour 1 682 stations).

Il est à noter que certaines données chimiques manquantes ont été complétées par l'ONEMA (DiR 5) pour quelques stations et certaines valeurs considérées comme peu fiables ont vu leur valeur être corrigée. Cependant, les nouvelles informations concernant les macropolluants n'ont pas été directement intégrées à la base de données étant donnée la différence de source et de format (non compatible) avec la base de données sous sa forme brute. Ces données ne sont intégrées dans les données qu'au moment même de leur utilisation (par exemple lors du choix des sites de « calibration » où elles remplacent les anciennes valeurs considérées comme obsolètes).

### 2.4.3 Jointure des données piscicoles

Lors de la reconstitution des données piscicoles, certains lots ont posé problème et les 38 opérations correspondantes ont été retirées du jeu de données :

Tableau 26 – Nombre d'opérations, pour chacune de DiR, présentant des lots à problème, ayant été retirées du jeu de données.

DiR1	DiR2	DiR3	DiR4	DiR5	DiR6	DiR7	DiR8	DiR9
5	26	6	0	0	0	1	0	0

On passe donc de 11 155 à 11 117 opérations dans les tables piscicoles (pour toutes les années et non pas uniquement sur la période 1998-2007).

Après jointure des données piscicoles à la « super-table » OPERATION, il s'avère également que 85 opérations ne présentent pas de poisson (les 38 opérations retirées précédemment sont incluses dans ce nombre) :

Tableau 27 – Nombre d'opérations sans poisson, pour chacune de DiR.

Date	DiR1	DiR2	DiR3	DiR4	DiR5	DiR6	DiR7	DiR8	DiR9
Juin 2009	23	5	12	4	19	0	4	2	16
Nov. 2009	25	3	12	1	19	0	4	2	16

À ce stade final, la « super-table » OPERATION compte alors 7 582 opérations pour 1 684 stations (contre 7 187 opérations pour 1 660 stations auparavant).

Avant jointure, on ne conserve que les premiers passages de chaque opération. Par ailleurs, on prend le soin de retirer les points de pêche complémentaires du jeu de données.

Pour chaque opération, on calcule alors les effectifs, la richesse et la proportion d'espèces intolérantes sur les effectifs. La richesse calculée ici est la richesse brute, sans aucun regroupement taxonomique.

## 3 Élaboration des indices de pressions

### 3.1 Indice de pressions synthétique global

#### 3.1.1 Méthode

La construction d'un indice de pressions a pour but de permettre d'évaluer de façon synthétique la réponse des métriques à l'influence des actions anthropiques. Cette approche est justifiée par le fait que de très nombreux sites sont soumis à de multiples pressions, ce qui entraîne une dépendance de l'intensité de la réponse biologique à cet effet cumulé. Il convient donc, en complément de l'analyse des réponses des métriques aux pressions individuelles, d'apprécier leur effet cumulé.

Le premier indice construit considère l'ensemble des situations environnementales. Pour ce faire, les descripteurs de pressions les plus importants et les mieux informés dans le jeu de données sont sélectionnés. Ce sont les 12 variables suivantes :

- BarAv,
- HydroModifie,
- HydroEclus,
- HydroQres,
- HydroPrelev,
- MorphoFaciesRete,
- MorphoRectif,
- MorphoRecal,
- DivEtang,
- DivNavig,
- PollEutroph,
- MOOX.

Pour construire cet indice de pressions général, nous utilisons d'une part, le jeu de « calibration », qui comporte *de facto* une seule opération par site et, d'autre part, les autres sites, mais en ne conservant, là aussi, qu'une seule opération par station, le choix étant fait par tirage aléatoire. La procédure de construction de l'indice de pressions est bâtie et développée à partir de celle construite par P. Bady (communication personnelle) dans le cadre du projet EFI+ (Bady *et al.*, 2009). L'indice de pressions est construit à partir d'une analyse des correspondances multiples (ACM ; Tenenhaus & Young, 1985). Nous ne nous intéressons ici qu'aux deux premiers axes de l'analyse, les axes suivants ne faisant pas ressortir d'information de manière convaincante.

Une difficulté a été rencontrée lors de la construction de l'indice de pressions, à savoir que pour quasiment tous les sites de la DiR 3 (249 sites) et quelques sites de la DiR 9 (1 site) et de la DiR 5 (1 site), les données concernant l'eutrophisation sont manquantes. Étant donné le fait qu'il paraît difficile de ne pas pouvoir obtenir des valeurs d'indice de pressions pour l'ensemble de cette DiR, il a été décidé de remplacer les valeurs manquantes de PollEutroph par les valeurs de MOOX, partant du principe que ces deux types de pollutions (pollution par les matières organiques et enrichissement par les nutriments) sont souvent associés, et en utilisant la correspondance ci-dessous :

Tableau 28 – Correspondance entre les modalités MOOX et PollEutroph.

Pression	Modalité 1	Modalité 2	Modalité 3	Modalité 4	Modalité 5
MOOX	1	2	3	4	5
PollEutroph	nul	faible	moyen	fort	fort

Cependant, il paraît risqué d'utiliser de telles données pour la construction de l'indice de pressions. Aussi a-t-il été décidé que ces données n'entreraient pas en compte dans la construction même de cet indice, mais que les stations concernées par cette lacune de données seraient projetées en tant qu'individus supplémentaires (figure ci-après). Par conséquent, ces sites n'influent en rien sur la construction de l'indice à proprement parler, mais il est toutefois possible de calculer une valeur pour ces derniers. Cependant on tiendra compte de ces sites lors de la construction des classes de l'indice de pressions. Au final, il est possible de calculer l'indice de pressions sur 1 438 sites.

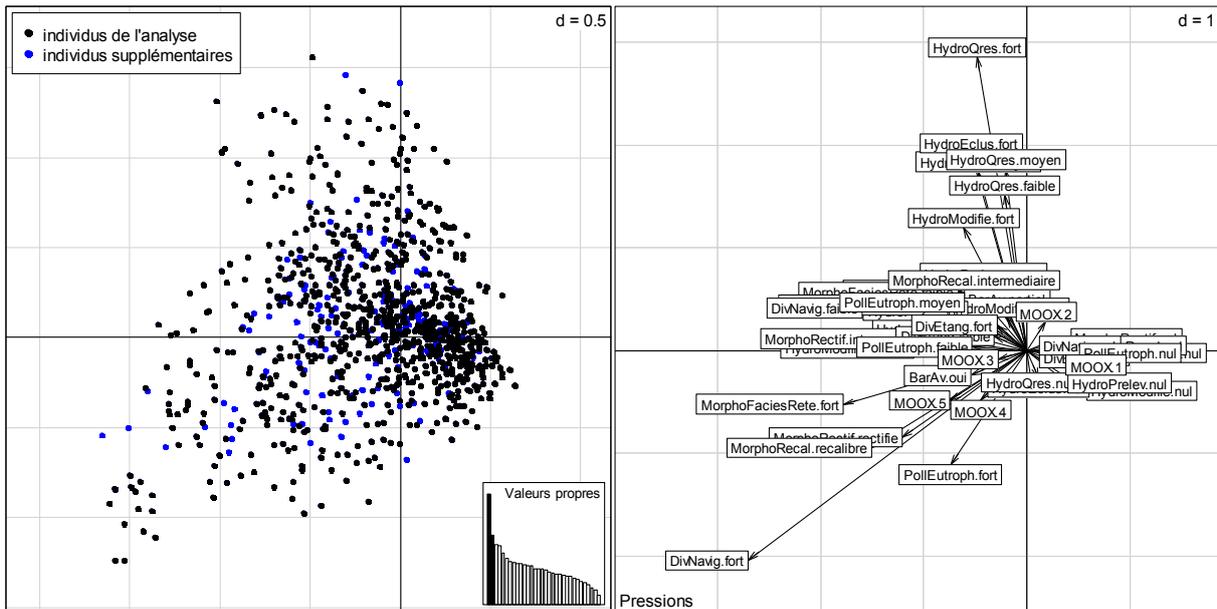


Figure 15 – Carte factorielle de l'ACM représentant les stations IPR+ dans l'espace vectoriel F1 x F2 des pressions anthropiques.

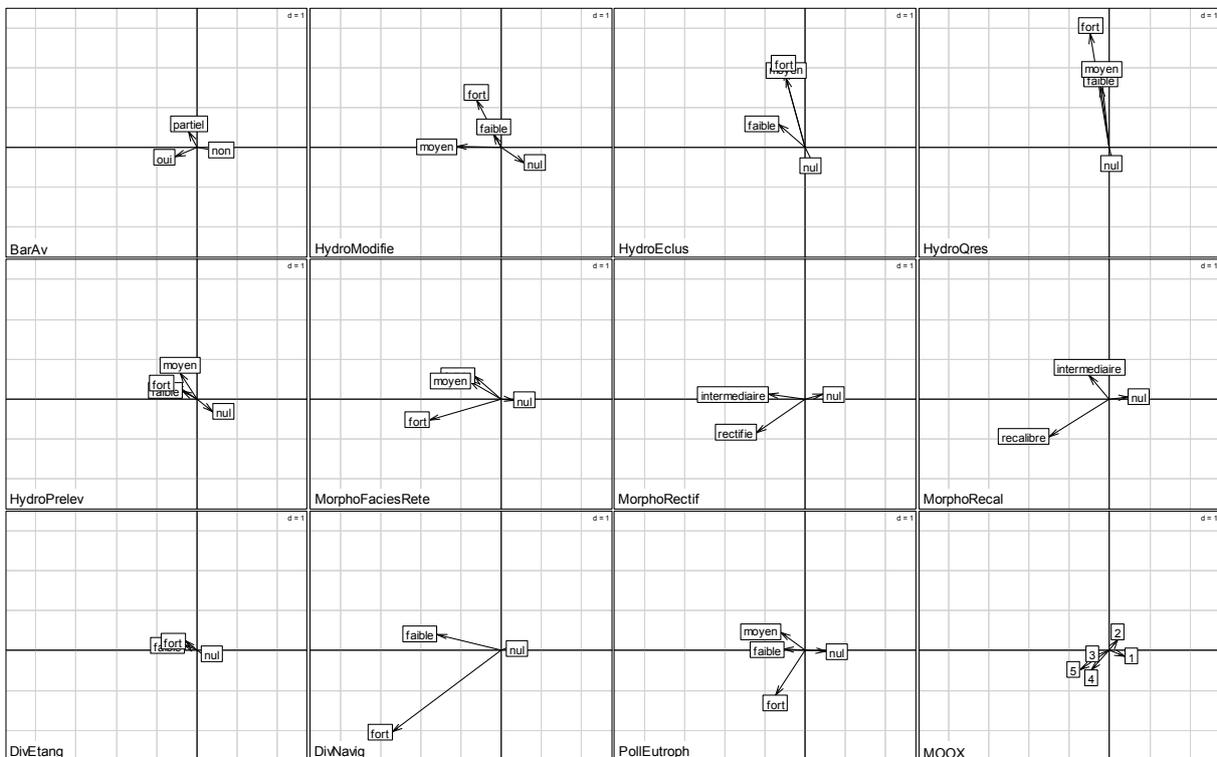


Figure 16 – Cartes factorielles pour chacune des pressions étudiées de l'ACM représentant les stations IPR+ dans l'espace vectoriel F1 x F2 des pressions anthropiques.

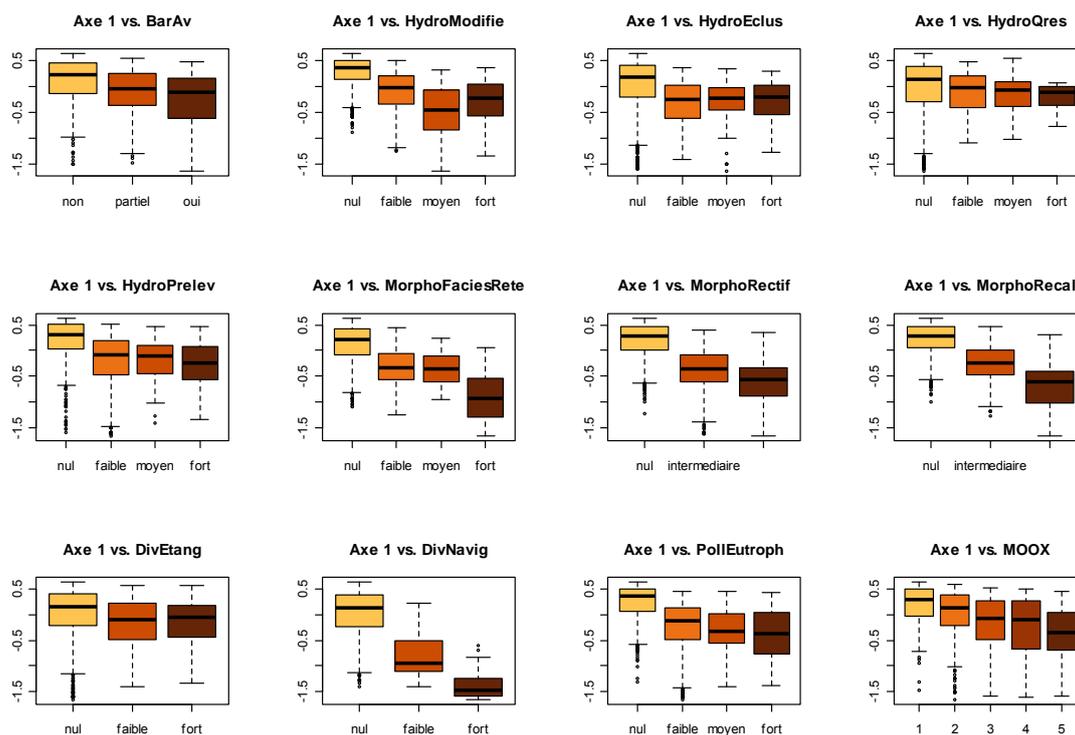


Figure 17 – Réponse de l'axe 1 de l'ACM en fonction des différentes pressions anthropiques considérées pour la construction de l'indice de pressions général.

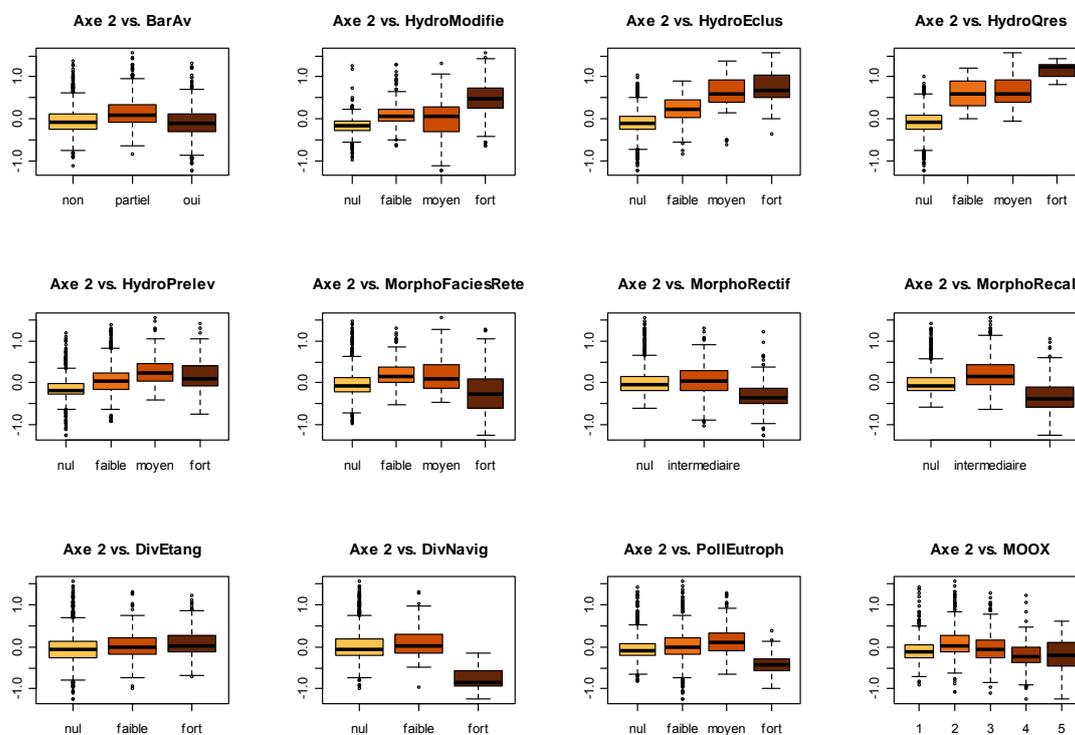


Figure 18 – Réponse de l'axe 2 de l'ACM en fonction des différentes pressions anthropiques considérées pour la construction de l'indice de pressions général.

Nous pouvons constater (cf. figures précédentes) que le premier axe de l'ACM explique principalement les pressions d'ordre morphologique, la navigation et les altérations chimiques. Même si les autres variables répondent moins fortement, la logique est respectée et les gradients de pressions observés décroissent globalement lorsque les valeurs diminuent sur l'axe 1.

Par ailleurs, il s'avère que les pressions d'ordre hydrologique — en particulier, les éclusées et les débits réservés, et dans une moindre mesure les prélèvements et la modification du régime hydrologique — sont mal expliquées par l'axe 1 mais répondent bien mieux sur le deuxième axe. En outre, les autres variables ne sont pas expliquées par ce deuxième axe, exception faite des fortes pressions pour la navigation et l'eutrophisation, et très légèrement les variables d'ordre morphologique ou chimique. Il a donc été décidé de construire deux indices de pressions liés à chacun des deux axes.

Les individus supplémentaires sont assez bien répartis sur la plan factoriel, ce qui laisse à penser que le fait de substituer les valeurs de l'eutrophisation par les valeurs de MOOX n'est pas trop problématique.

### 3.1.2 Définition de classes de pressions

Le premier indice de pressions général, est construit à partir du premier axe de l'ACM. Les valeurs de l'axe 1 sont remises à l'échelle entre 0 et 1, puis leur distribution est estimée à l'aide de la méthode des noyaux et un découpage en 5 classes est réalisé grâce à l'utilisation de la méthode de clustering des K-means (Hartigan & Wong, 1979). Lors de la construction des classes de cet indice, les individus supplémentaires sont, cette fois, intégrés aux données. Afin de stabiliser la classification, la procédure utilisée est itérative et permet de trouver la solution de K-means qui minimise la somme totale des carrés des distances à l'intérieur d'un cluster. La distribution par catégorie de l'indice de pressions est illustrée par la figure ci-dessous.

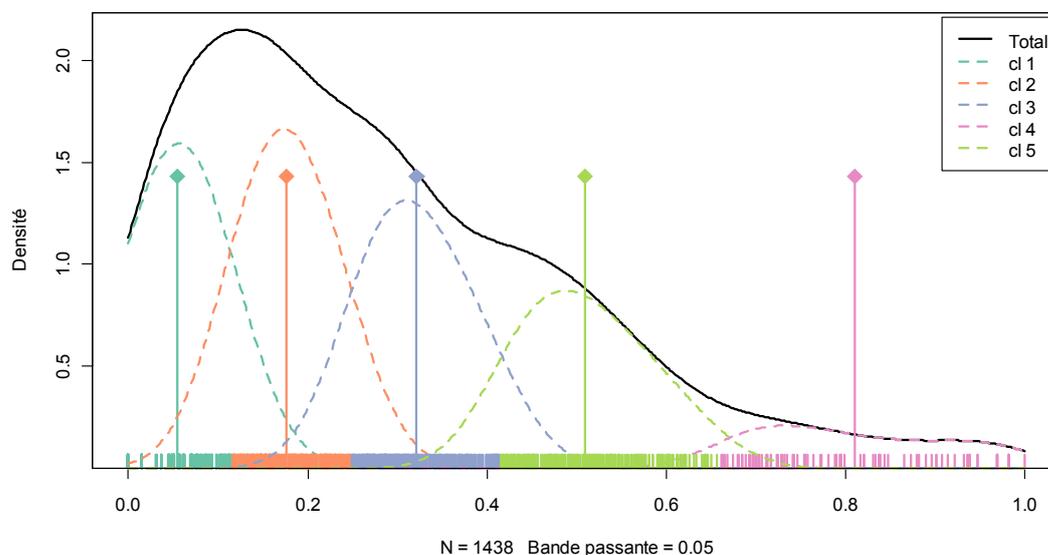


Figure 19 – Estimation de la distribution (méthodes des noyaux) des scores en 5 classes (méthode des K-means) pour le premier indice de pressions général.

Les sites de « calibration » représentés sur les graphiques et dans les tableaux correspondent au jeu de « calibration » sur critères de sélection unique, c'est-à-dire le jeu de données de « référence » (cf. partie sur la sélection du jeu de « calibration »).

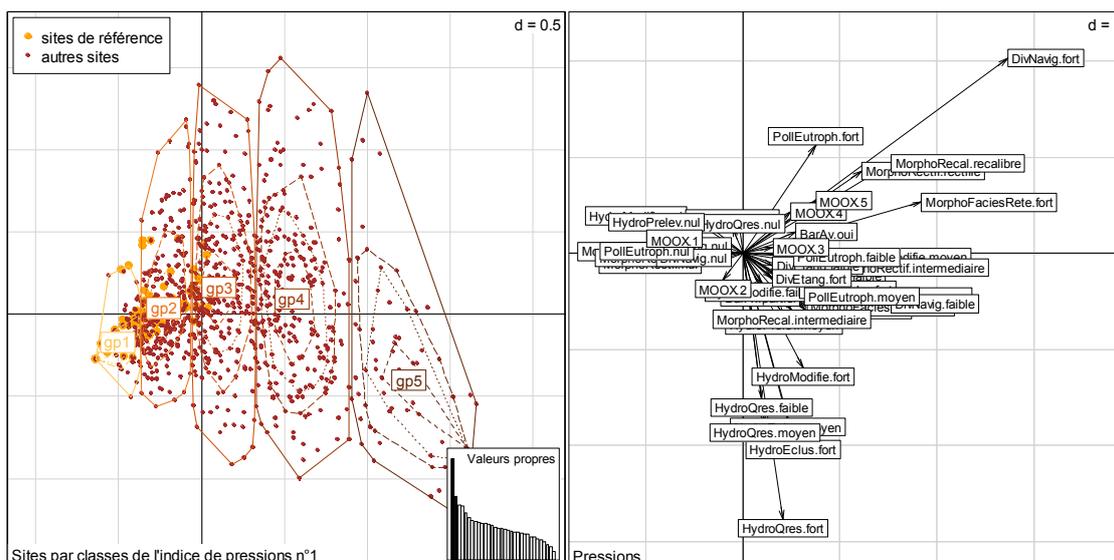


Figure 20 – Carte factorielle de l'ACM représentant les stations IPR+ (y compris les individus supplémentaires) dans l'espace vectoriel  $F1 \times F2$  des pressions anthropiques et selon les classes du premier indice de pressions général.

Le second indice de pressions général, est construit sur le même principe que le premier (ici aussi, les individus supplémentaires sont pris en compte). Les valeurs de l'axe 2 sont scalées entre 0 et 1, puis leur distribution est découpée en 5 classes. La différence avec le premier indice réside dans le fait qu'après cette étape de classification, les valeurs inférieures ou égales à 0 sur le deuxième axe sont toutes affectées à la même classe de l'indice de pressions. Ainsi l'indice passe-t-il de 5 classes à 4 classes (gp0 [gp1 + gp2 + une partie de gp3], gp3, gp4 et gp5). Ce subterfuge a pour but de palier au fait que les fortes pressions pour la navigation et l'eutrophisation (mais qui concernent en général des sites exempts de pressions hydrologiques, du moins dans cette analyse) s'expriment légèrement sur l'axe 2. Ainsi, le second indice de pressions général sera plus encore spécialisé dans une réponse exclusive aux pressions d'ordre hydrologique, ce qui permettra de mieux distinguer les différentes réponses de métriques aux pressions anthropiques et d'éviter ainsi de n'appréhender que des réponses globales qui masquent la diversité des réponses.

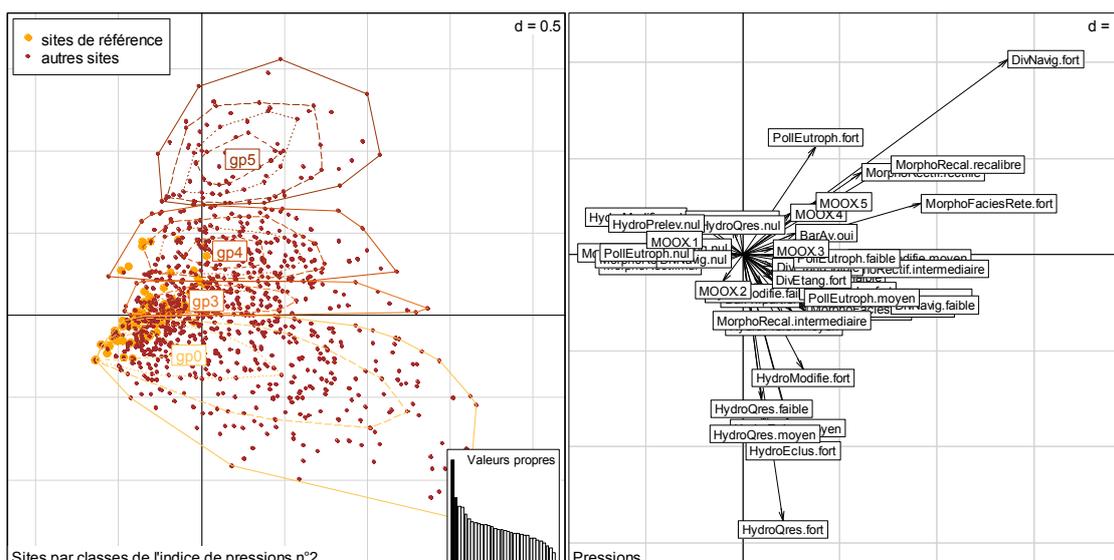


Figure 21 – Carte factorielle de l'ACM représentant les stations IPR+ (y compris les individus supplémentaires) dans l'espace vectoriel  $F1 \times F2$  des pressions anthropiques et selon les classes du second indice de pressions général.

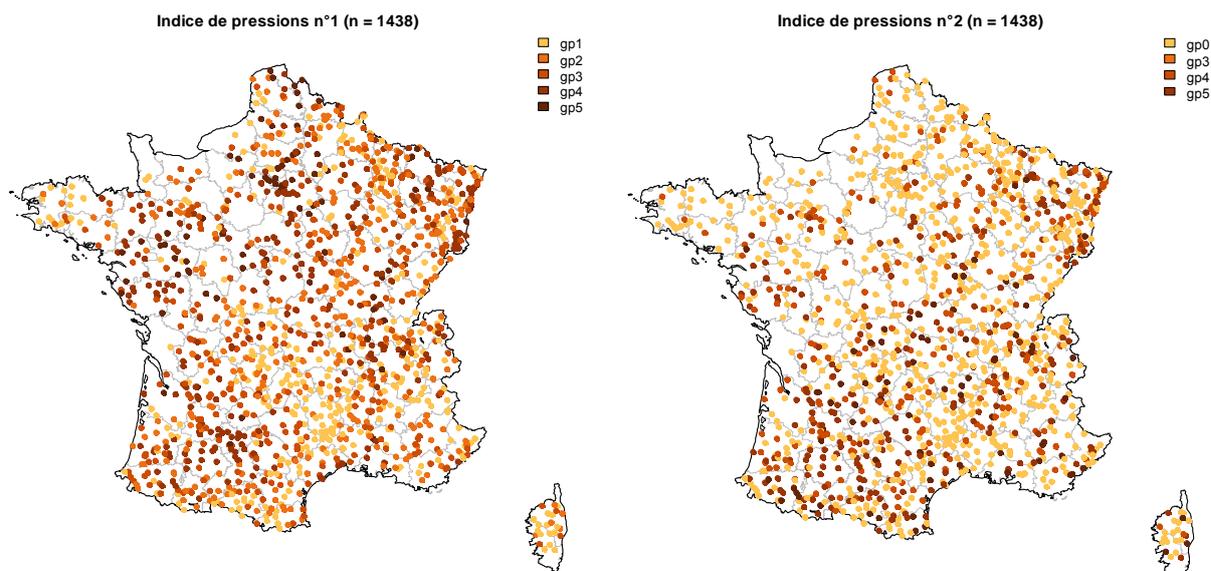


Figure 22 – Distribution spatiale des sites IPR+ selon le premier (à gauche) et le second (à droite) indice de pressions général (exprimé en classes).

Les valeurs du premier indice de pressions sont géographiquement structurées. Les sites les moins impactés sont situés dans les massifs montagneux (les Alpes, les Pyrénées, le Massif central et les massifs montagneux de Corse), la Bretagne, la Normandie et les Landes. Concernant le second indice de pressions, il semble plus délicat de distinguer une structure spatiale des classes d'indice.

Tableau 29 – Matrice de confusion des deux indices de pressions généraux (premier indice en lignes et second indice en colonnes).

	gp0	gp3	gp4	gp5
gp1	328	15	4	0
gp2	194	102	55	10
gp3	92	106	87	37
gp4	118	35	75	28
gp5	70	8	5	4

## 3.2 Indices de pressions par zone de Huet

Afin de mieux prendre en compte les spécificités liées aux principaux types de cours d'eau, en termes de pressions exercées sur les communautés piscicoles, des indices de pressions spécifiques ont été élaborés pour chacune des 4 zones piscicoles (cf. classification selon les critères de Huet, § 2.2.1 ; croisement de la modélisation du graphique des pentes de Huet avec l'avis d'expert des DiR 2, 5, 7 et 8 de l'ONEMA).

La méthodologie utilisée est identique à celle décrite précédemment et appliquée à l'ensemble du jeu de données. Cependant, afin de mieux rendre compte de la diversité des situations, en termes d'altérations tant chimiques que physiques, un plus grand nombre de descripteurs a été considéré, ce qui, en raison du nombre relativement important de données manquantes pour certaines variables, n'a pas permis de calculer ces indices synthétiques sur tous les sites du jeu de données. À l'inverse, ceci permet, lors de l'étape de l'examen des sensibilités des métriques candidates aux pressions, de considérer un plus large panel de situations.

Les paramètres considérés pour les 4 zones sont les suivants :

- BarAv,
- HydroModifie,
- HydroEclus,
- HydroQres,
- HydroPrelev,
- MorphoFaciesRete,
- MorphoBerge,
- MorphoRipisyl,
- MorphoColmat,
- MorphoRectif,
- MorphoRecal,
- MorphoTransSolid,
- ThermModif,
- PollTox,
- PollOrga,
- PollNutr,
- PollEutroph,
- PollAcid,
- DivEtang,
- MOOX.

Pour chacune des 4 zones, seul le premier axe de l'analyse des correspondances multiples est retenu et est ensuite discrétisé en 5 classes.

*Tableau 30 – Nombre de sites par zone (HUET54 croisé avec l'avis de DiR) où les indices de pressions spécifiques peuvent être calculés.*

<b>Zone</b>	<b>Nombre total de sites</b>	<b>Sites où l'indice de pressions est calculé</b>
Truite	448	337
Ombre	390	220
Barbeau	601	262
Brème	220	87

Les pourcentages d'inertie totale expliqués par le premier axe restent relativement modestes, bien qu'il faille considérer qu'ils ne sont que rarement très élevés dans une procédure d'ACM. Respectivement, pour les 4 zones, on obtient 8,7 % pour la truite, 7,6 % pour l'ombre, 8,0 % pour le barbeau et 10,5 % pour la brème.

Pour chacun des indices définis pour chaque zone, le premier axe oppose les sites peu à pas perturbés aux sites les plus altérés. Ce résultat est cependant moins net pour la zone à brème où des sites relevant des catégories moyennement perturbées se mêlent aux premiers : classe « moyen » voir « fort » dans un cas (éclusées) sur la figure. Ceci traduit la rareté de sites pouvant être réellement considérés comme de « référence » dans la zone la plus avale.

En revanche, selon les zones, les associations entre variables varient. De façon générale, on observe cependant une meilleure association entre les perturbations morphologiques et l'altération de la qualité de l'eau qu'avec les modifications des conditions hydrologiques.

En définitive, il apparaît que ces indicateurs synthétiques de pressions, lorsqu'ils sont établis par zone, permettent de disposer d'un gradient d'intensité de pressions (premier axe de l'ACM) mais qu'ils ne rendent pas compte de la multiplicité des situations en termes de combinaisons de pressions.

À partir de ce résultat, il semble qu'il sera nécessaire, lors de l'analyse de sensibilité des métriques aux pressions, d'examiner à la fois leurs réponses à ces indicateurs synthétiques mais également à chaque pression prise individuellement.

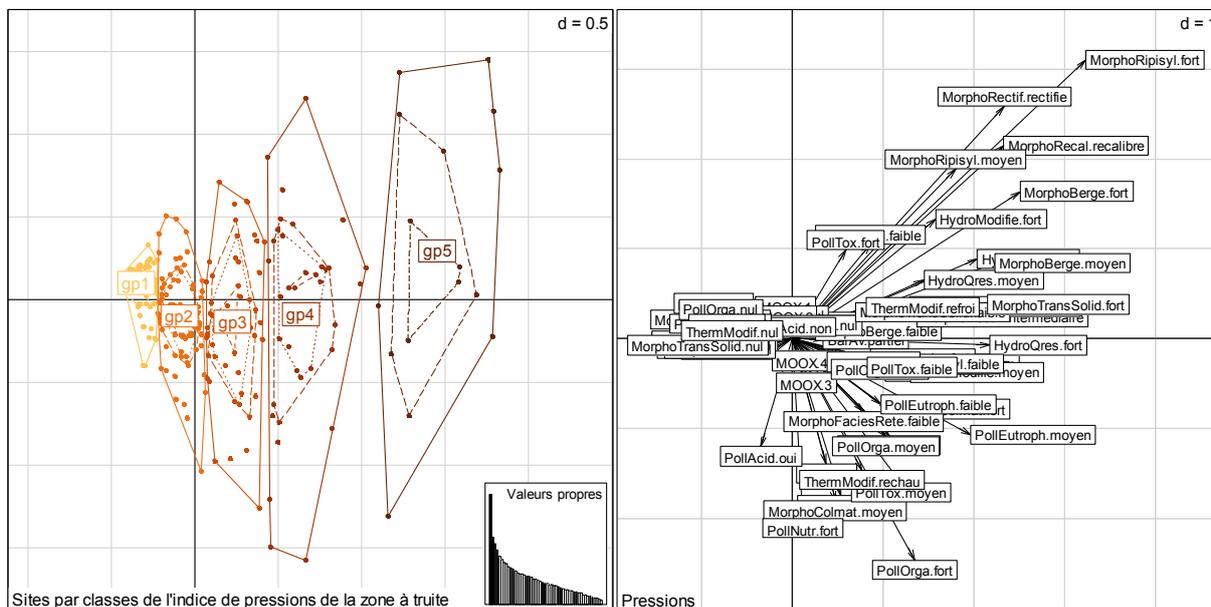


Figure 23 – Carte factorielle de l'ACM représentant les stations IPR+ de la zone à truite dans l'espace vectoriel F1×F2 des pressions anthropique (à gauche : position des relevés et inertie associée aux différents axes ; à droite : carte des modalités des pressions).

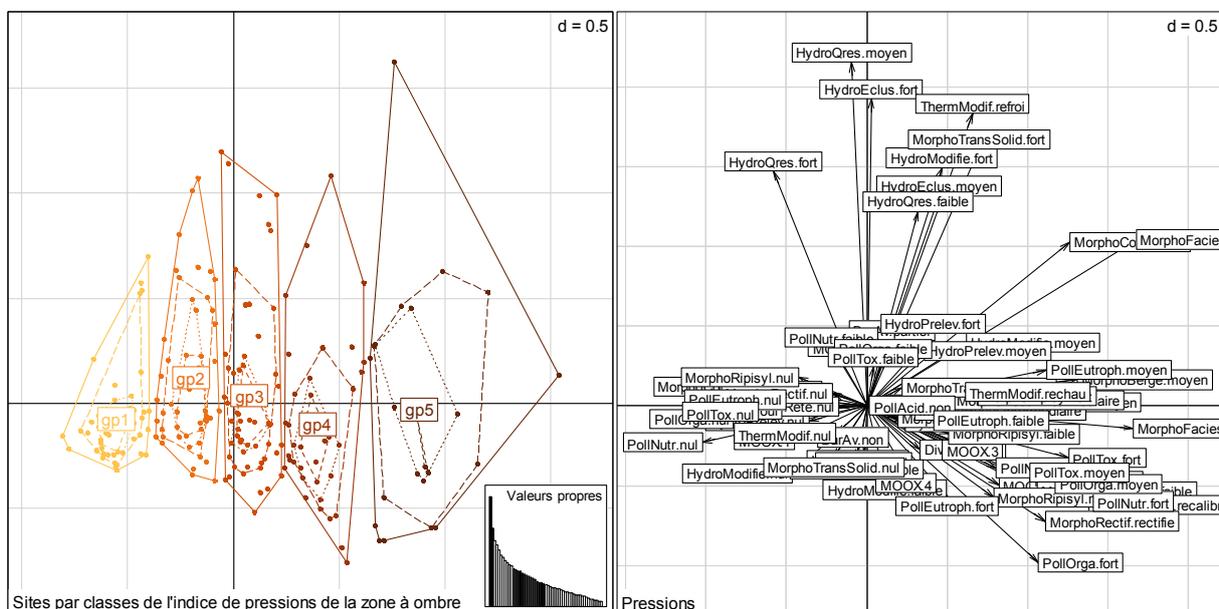


Figure 24 – Carte factorielle de l'ACM représentant les stations IPR+ de la zone à ombre dans l'espace vectoriel F1×F2 des pressions anthropique (à gauche : position des relevés et inertie associée aux différents axes ; à droite : carte des modalités des pressions).



## 4 Sites de « référence » et de « calibration »

### 4.1 Principe de la démarche

La modélisation des réponses des métriques candidates à la variabilité de l'environnement naturel, en l'absence de perturbation d'origine anthropique importante, suppose de sélectionner, au préalable, des sites peu perturbés pour constituer un jeu de « calibration ». Dans le principe, ce jeu de « calibration » doit être représentatif des conditions de « référence » telle que définies par la DCE.

La méthode utilisée jusque là dans le cadre des projets européens antérieurs (Pont *et al.*, 2006) consiste en la sélection des sites selon une liste de critères communs définissant les niveaux de pressions maximums autorisés (soit les plus faibles possibles). Cependant, cette démarche logique présente certaines limites. La première est que les sites peu perturbés sont en général beaucoup plus fréquents dans les parties amont des réseaux où, de nos jours, les densités humaines et les activités économiques sont les moins fortes (zones de montagne, etc.). Il s'en suit une surreprésentation des sites amont caractérisés par des richesses piscicoles faibles et l'absence des grands cours d'eau dans le jeu de « calibration ». Dès lors, il devient délicat d'appliquer les modèles sur les zones les plus aval (extrapolation) et on peut s'attendre à ce que la qualité de la prédiction soit meilleure sur les zones amont.

Par ailleurs, l'eutrophisation, par des processus totalement indépendants de l'activité humaine, aura-t-elle tendance à croître à l'aval en raison des apports en nutriments en provenance du bassin versant drainé. Il s'ensuit qu'il est possible de justifier la sélection des sites de manière moins stricte sur les tronçons aval que sur les tronçons amont — au moins pour certaines variables.

Enfin, et par extension, on peut accepter l'idée de retenir des sites de « calibration » sur certaines zones, bien qu'ils soient soumis à un niveau de perturbation plus élevé que pour des sites présents sur d'autres zones, ceci afin de chercher à couvrir un gradient environnemental le plus complet possible lors de la phase de modélisation des métriques et de s'assurer ultérieurement de la possibilité d'appliquer le bio-indicateur sur l'ensemble des situations environnementales rencontrées.

On voit donc que, en fonction du choix effectué, les implications sur la suite du processus seront fortes.

Dans le cas d'un choix de critères uniques de sélection des sites de « calibration » des modèles, quelque soit le site considéré, on cherche à minimiser les perturbations et on se rapproche d'un jeu de données de « calibration » tendant à décrire des conditions proches de l'état de « référence ».

Dans le cas où les critères de sélection des sites varient selon les types de sites considérés, le jeu de données de « calibration » permet probablement une meilleure modélisation des réponses à l'environnement mais les valeurs prédites ne pourront plus être considérées comme représentative de l'état de « référence » en tout point du gradient environnemental. Il faudra alors évaluer l'écart à la valeur prédite de façon différente selon les types de cours d'eau. Par exemple, une distance entre valeurs prédites et observées des métriques plus forte à l'amont pourra correspondre à une même dégradation de l'état écologique qu'un écart plus petit à l'aval. On est ici dans un cas où l'écart à la prédiction s'éloigne de la notion d'écart à l'état de « référence » et des correctifs variables pourront être appliqués aux valeurs obtenues (notion plus générale de benchmarking).

Dans la pratique, nous avons défini 2 types de jeu de données :

- Le premier est qualifié de **jeu de sites de « référence »**. Les critères de sélection des sites sont communs à l'ensemble des situations rencontrées, c'est-à-dire. peu à pas de perturbations sur les sites.
- Le deuxième est qualifié de **jeu de sites de « calibration »**. Les modalités de choix des sites ont été ajustées en fonction de l'appartenance à l'une des classes typologiques de Huet (1954) : zones à truite, à ombre, à barbeau et à brème.

Dans le premier cas (sélection des sites selon des critères uniques), la pré-sélection des sites par l'IRSTEA a été examinée par les ingénieurs de l'ONEMA au niveau des DiR et le croisement des sélections a permis d'aboutir à une liste finale prenant en compte les différents avis du mieux possible.

Le principe retenu est d'utiliser le jeu de sites de « calibration » pour la modélisation des métriques et ainsi d'avoir des modèles plus représentatif des gradients environnementaux réellement observés sur le terrain. Le jeu de sites de « référence » servira quant à lui à transformer les valeurs finales des métriques sélectionnées en EQR, c'est-à-dire en les divisant par la valeur médiane des sites du jeu de « référence ». Cela permettra d'effectuer une transformation basée sur des critères uniques pour la totalité des sites français et ainsi de respecter le principe de la « reference condition approach » demandée par la DCE.

## 4.2 Sites de « référence »

### 1<sup>re</sup> étape : sélection des sites

Tous les descripteurs suivants doivent être renseignés pour les sites sélectionnés afin de disposer d'une description la plus complète possible des conditions qui y sont rencontrées.

Tableau 31 – Liste des descripteurs obligatoires pour la sélection du jeu de « référence ».

Description station	Environnement	Environnement	Pression	Pression
NOMSTA	PENT	REG4_GV	BarAmt	MorphoRipsisyl
RIV	TJANV	GEOL1	BarAv	MorphoColmat
X_CTRL	TJUIL	DIST_DIR	HydroModifie	MorphoRectif
Y_CTRL	LAC	BV_FINAL	HydroEclus	MorphoRecal
CÓDOPERA	LARGEAU	ALT	HydroQres	MorphoDigMaj
CODESTA	PRECAN		HydroPrelev	ThermModif
DATE	METHOD		MorphoFaciesRete	DivEtang
DR	STRATEG		MorphoFaciesAccel	DivNavig
departement	SURF		MorphoBerge	

Les données manquantes de chimie ne sont pas pénalisantes, sauf lorsqu'elles sont à la fois manquantes pour les trois variables suivantes : iMOOX & CL\_MOOX & PollEutroph. Par conséquent, pour une pêche donnée, si au moins l'une des ces trois données est disponible, l'opération n'est pas écartée à cette étape de la sélection.

Après ce premier tri sur les données manquantes, on applique un filtre sur les modalités de 13 variables décrivant les pressions considérées comme prioritaires. En ce qui concerne les données piscicoles, la surface de pêche doit être au minimum de 100 m<sup>2</sup> et les effectifs capturés supérieurs ou égaux à 30 individus.

Tableau 32 – Liste des variables et de leurs modalités qui autorisent (en rouge) ou qui empêchent (en rouge) l'appartenance au jeu de « référence ».

Variable	Modalité 1	Modalité 2	Modalité 3	Modalité 4	Modalité 5
BarAv	oui	partiel	non		
HydroModifie	fort	moyen	faible	nul	
HydroEclus	fort	moyen	faible	nul	
HydroQres	fort	moyen	faible	nul	
HydroPrelev	fort	moyen	faible	nul	
MorphoFaciesRete	fort	moyen	faible	nul	
MorphoRectif	rectifie	intermediaire	nul		
MorphoRecal	recalibre	intermediaire	nul		
DivEtang	fort	faible	nul		
DivNavig	fort	faible	nul		
iMOOX	5	4	3	2	1
CL_MOOX	5	4	3	2	1
PollEutroph	fort	moyen	faible	nul	
effectif	< 30	≥ 30			
SURF	< 100	≥ 100			

Cette sélection permet donc d'écartier du jeu de « référence » les stations présentant des pressions anthropiques significatives et, par ailleurs, de conserver les pêches pour lesquelles l'échantillonnage n'est pas fortement biaisé (effectif et surface de pêche suffisants).

On obtient alors un jeu de données de 409 stations et 1 729 opérations. À ce stade, on sélectionne donc des stations de « référence » avec des conditions restrictives sur certaines opérations. Ceci

signifie que, pour une station qui est sélectionnée dans le jeu de « référence », cette dernière peut présenter une ou plusieurs opérations qui ne font pas partie de cette sélection.

## 2<sup>e</sup> étape : sélection des opérations

Afin de garantir au mieux l'indépendance des données, il convient de ne conserver qu'une seule opération par station. Pour cela, on applique des préférences sur certaines variables :

- on choisit préférentiellement les pêches par points ;
- pour la DiR 3, on préfère les pêches postérieures à 2002 et les opérations qui n'ont pas été effectuées à pied lorsqu'elles ont été faites partiellement sur les berges ;
- on préfère une stratégie d'échantillonnage définie en évitant au maximum les pêches partielles de berges ;
- on retient préférentiellement les pêches où les effectifs sont supérieurs à 100 individus ;
- en dernier lieu, on effectue un tirage au sort (de manière reproductible) pour ne conserver plus qu'une seule opération par station.

Au terme de cette étape, on a donc le même nombre d'opérations que de stations sélectionnées, à savoir 409.

Sur l'ensemble du jeu de données de la base IPR+, les 409 sites sélectionnés par l'IRSTEA pour appartenir au jeu de « référence » se répartissent de la manière suivante entre les DiR :

Tableau 33 – Répartition par DiR des stations de « référence » de la base de données IPR+ avant prise en compte de l'avis des DiR.

DiR1	DiR2	DiR3	DiR4	DiR5	DiR6	DiR7	DiR8	DiR9
72	17	99	7	46	26	52	65	25

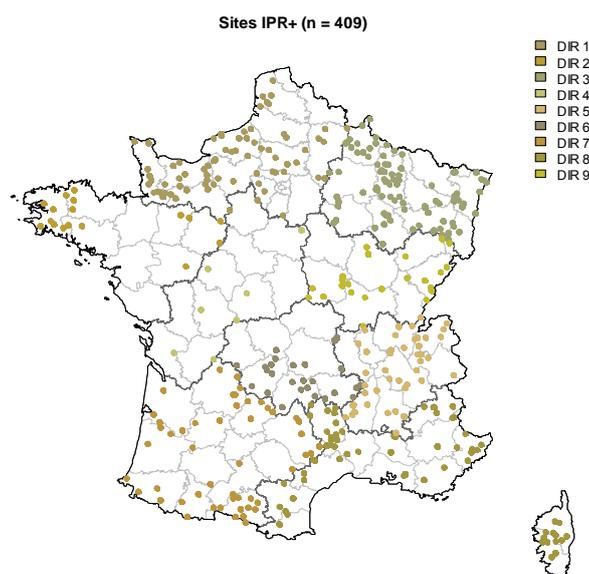


Figure 27 – Distribution spatiale de l'ensemble des stations de « référence » de la base de données IPR+ avant prise en compte de l'avis des DiR.

Ces 409 sites sont relativement bien distribués spatialement sur l'ensemble du territoire métropolitain et de la Corse, même si certaines régions sont un peu plus favorisées que d'autres (Normandie, Corse...). L'absence de sites dans certaines régions est assez logique compte tenu du niveau d'anthropisation de ces zones et du niveau de dégradation de ces dernières (quasi absence de sites sélectionnés dans la DiR 4).

## 3<sup>e</sup> étape : vérification de la sélection par les ingénieurs de l'ONEMA

Après cette étape de présélection par l'IRSTEA, une première version du jeu de « référence » a été envoyée à l'ONEMA. Chacune des DiR a donné son avis et ses commentaires sur le choix des sites

et/ou des opérations de « référence ». De cette manière, si un problème particulier — lié au climat, à l'hydrologie ou à l'échantillonnage — existait pour l'année retenue par l'IRSTEA, les DiR ont pu soit proposer une autre opération pour la même station, soit demander que la station problématique soit retirée du jeu de « référence ».

Pour ce faire, l'IRSTEA a mis à disposition de l'ONEMA la liste de l'ensemble des opérations de pêche appartenant à la période 1998-2007 de la base de données IPR+ et les modalités des variables associées présentées dans le tableau ci-après. Par ailleurs, si une station était retenue dans le jeu de « référence », la modalité « oui » était alors renseignée dans une colonne spécifique (select\_station) et si une opération était retenue dans le jeu de « référence », la modalité « oui » était alors renseignée dans une autre colonne (select\_operation).

*Tableau 34 – Variables permettant à l'ONEMA de vérifier la présélection des sites de « calibration » effectuée par l'IRSTEA.*

Variable	Description	Variable	Description
select_poisson	Présence de données piscicoles	MorphoRipisyl	Ripisylve
select_station	Station de « référence »	MorphoColmat	Colmatage
select_operation	Opération de « référence »	MorphoRectif	Rectification tracé
CODOPERA	Code de l'opération	MorphoRecal	Chenalisation
CODESTA	Code de la station	MorphoDigMaj	Digue
DATE	Date	ThermModif	Modification thermie
DR	Délégation interrégionale	DivEtang	Présence étang
departement	N° de département	PollTox	Pollution toxiques
NOMSTA	Nom de la station	PollOrga	Pollution organique
RIV	Nom du cours d'eau	PollNutr	Pollution azote-phosphore
X_CTRL	Longitude de la station	PollEutroph	Eutrophisation
Y_CTRL	Latitude de la station	PollAcid	Pollution acide
RÉG4_GV	Typologie régime hydrologique	PollSalin	Pollution saline
GEOL1	Géologie	CL_MOOX	Classe mat. orga. et oxydables
DIST_DiR	Distance source	CL_AZOT	Classe matières azotées
BV_FINAL	Taille bassin versant	CL_NITR	Classe nitrates
ALT	Altitude	CL_PHOS	Classe matières azotées
PENT	Pente	hap10max	HAP max 10 ans
TJANV	Température janvier	HAP10BON	HAP bon 10 ans
TJUIL	Température juillet	mpmi10max	Métaux lourds max 10 ans
LAC	Présence lac	MPMI10BON	Métaux lourds bon 10 ans
LARGEAU	Largeur	mpor10max	Micropolluants orga. max 10 ans
PRECAN	Profondeur	MPOR10BON	Micropolluants orga. bon 10 ans
METHOD	Méthode échantillonnage	pcb10max	PCB max 10 ans
STRATEG	Stratégie échantillonnage	PCB10BON	PCB bon 10 ans
SURF	Surface prospectée	pest10max	Pesticides max 10 ans
BarMer	Barrière jusqu'à la mer	PEST10BON	Pesticides bon 10 ans
BarAmt	Barrière amont	iMOOX	Indicateur mat. orga. et oxydables
BarAv	Barrière aval	iNitr	Indicateur nutriments azotés
HydroModifie	Régime modifié	iPhos	Indicateur nutriments phosphorés
HydroEclus	Régime modifié barrage	richesse	Richesse spécifique
HydroPrelev	Captage	effectif	Effectif de poissons capturés
MorphoFaciesRete	Retenue	prop_intol	Proportion des individus intolérants
MorphoFaciesAccel	Accroissement d'écoulement	granulometrie	Granulométrie naturelle
MorphoBerge	Artificialisation des berges		

Selon les délégations interrégionales, des stations ont été ajoutées ou retirées du jeu de « référence » et, par ailleurs, pour une même station une opération a pu être préférée à celle sélectionnée par l'IRSTEA.

Les opérations retenues pour le jeu de « référence » et sélectionnées par les DiR se répartissent comme ci-dessous :

*Tableau 35 – Répartition par DiR des opérations de « référence » modifiées par les DiR (« référence » ONEMA).*

DiR1	DiR2	DiR3	DiR4	DiR5	DiR6	DiR7	DiR8	DiR9
57	22	47	19	68	27	46	63	21

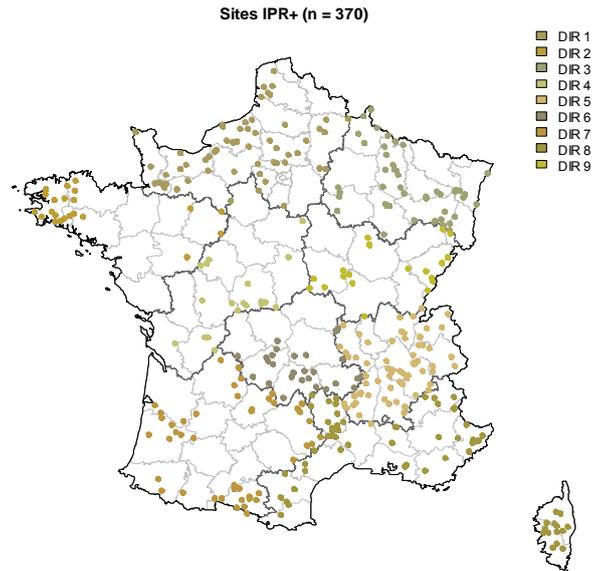


Figure 28 – Distribution spatiale de l'ensemble des stations de « référence » de la base de données IPR+ avec acceptation sans condition de l'avis des DiR.

La répartition des 370 sites après acceptation sans condition des avis de DiR de l'ONEMA ne diffère pas énormément de la proposition de l'IRSTEA. Ceci est tout à fait logique puisque la majorité des sites sont les mêmes. Les plus grosses différences résident dans l'ajout de sites dans la DiR 4, dans les Alpes du Nord et le retrait de sites en Champagne-Ardennes.

#### 4<sup>e</sup> étape : croisement des sélections opérées par l'ONEMA et l'IRSTEA

Le jeu de « référence » final correspond au croisement entre les opérations sans pression significative (« référence » IRSTEA) et les avis des DiR (« référence » ONEMA). C'est-à-dire que, pour appartenir au jeu de « référence », une opération de pêche doit être peu ou pas perturbée (selon les critères décrits plus haut) et ne doit pas être exclue par les DiR. Toutes les autres opérations sont retirées du jeu de « référence ».

Cette démarche permet de ne conserver dans le jeu de « référence » final, que les sites peu perturbés par les activités anthropiques et d'éviter qu'ils ne contiennent des opérations de pêches exceptionnelles au vu de leurs conditions climatiques (température, hydrologie, etc.). En outre, ceci évite aussi de retenir des opérations ayant présenté des problèmes lors de l'échantillonnage.

En croisant les avis de l'IRSTEA et de l'ONEMA, on retient finalement 310 sites. On peut voir que la plupart des sites qui ne sont plus retenus dans le jeu de « référence » suite aux avis de l'ONEMA étaient situés au sein de grappes de points, là où la densité de sites retenus était déjà relativement élevée. Ces retraits de sites ne dégradent donc pas la distribution spatiale et peuvent même faire régresser la corrélation spatiale.

Tableau 36 – Répartition par DiR des opérations de « référence » après croisement des avis de l'IRSTEA et de l'ONEMA).

DiR1	DiR2	DiR3	DiR4	DiR5	DiR6	DiR7	DiR8	DiR9
57	16	47	7	37	26	38	62	20

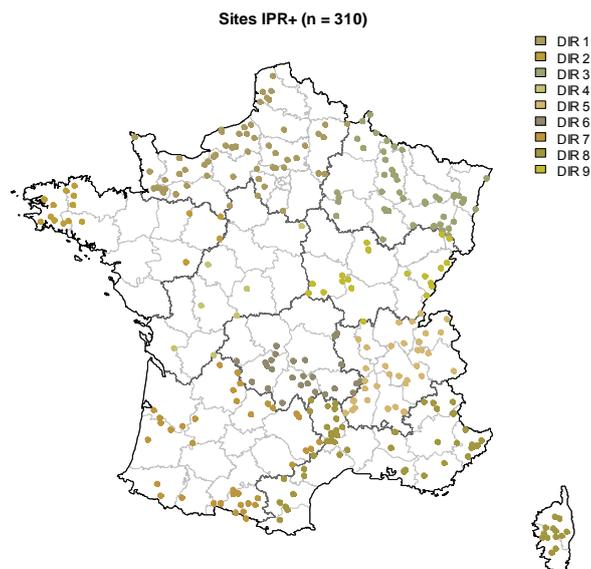


Figure 29 – Distribution spatiale de l'ensemble des stations de « référence » de la base de données IPR+ croisé avec l'avis des DiR.

Parmi les 310 sites retenus, 16 présentent des manques pour les variables LARGLIT, TMAX\_AN et TMIN\_AN et sont retirés du jeu de « référence » car ces variables environnementales servent à la modélisation, (pour mémoire, ces 16 sites n'avaient pas été retenus dans la sélection initiale effectuée par l'IRSTEA et on été proposés *a posteriori* par les DiR de l'ONEMA). On passe donc finalement de 310 à 294 sites de « référence ».

#### 5<sup>e</sup> étape : sélection finale des sites de « référence »

Afin de garantir au mieux l'indépendance des données, si plusieurs sites sont distants de moins de 10 km dans un même bassin IPR, un seul sera conservé par tirage aléatoire. Sur les 294 stations présélectionnées, 35 stations sont ainsi retirées et, par conséquent, **259 sites sont donc conservés dans le jeu de « référence » final.**

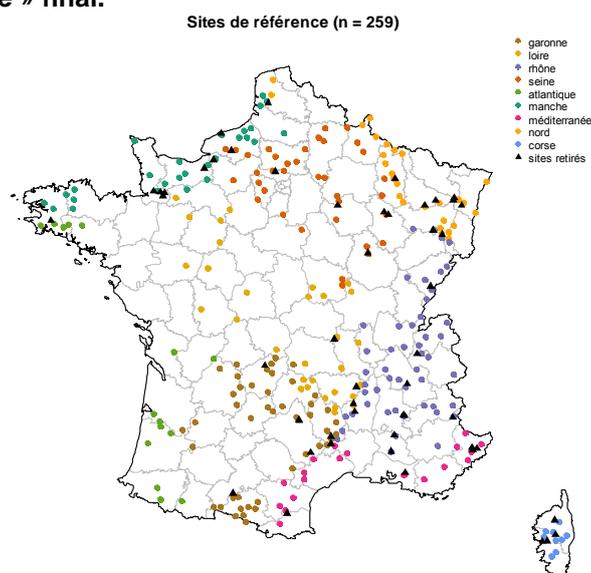


Figure 30 – Distribution spatiale de l'ensemble des 259 stations de « référence » de la base de données IPR+ après retrait des sites distants de moins de 10 km au sein d'un même bassin IPR (triangles noirs).

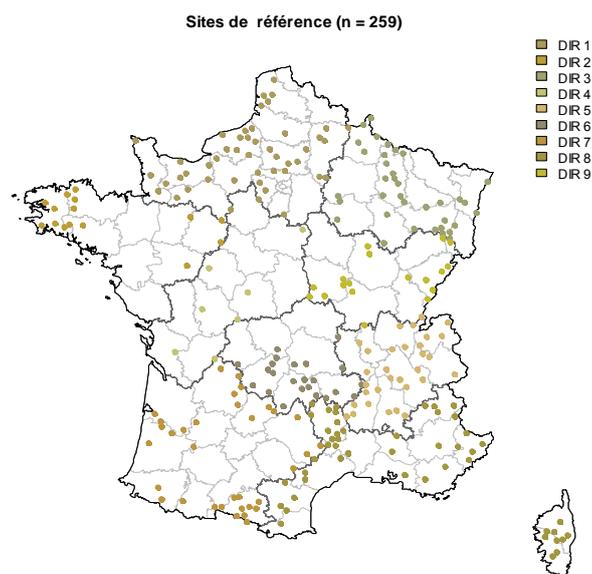


Figure 31 – Distribution spatiale de l'ensemble des 259 stations de « référence » de la base de données IPR+ après retrait des sites distants de moins de 10 km au sein d'un même bassin IPR.

Tableau 37 – Répartition par DiR des opérations finales de « référence » (« référence » IRSTEA × « référence » ONEMA, retrait des sites avec données manquantes et criblage spatial).

DiR1	DiR2	DiR3	DiR4	DiR5	DiR6	DiR7	DiR8	DiR9
47	15	36	7	31	23	34	48	18

## 4.3 Sites de « calibration »

### 1<sup>re</sup> étape : sélection des sites

La liste des variables ne devant pas présenter de valeurs manquantes est identique au cas précédent. Cependant, nous avons accepté une valeur manquante pour BarAmt, ThermModif et MorphoColmat afin d'accroître le nombre de sites en aval.

Les autres critères relatifs aux données piscicoles sont identiques (effectifs supérieurs à 30 individus et surface pêchée d'au moins 100 m<sup>2</sup>).

### 2<sup>e</sup> étape : sélection des sites selon des critères spécifiques par zone de Huet.

La liste de critères est identique à l'exception de la variable décrivant la présence de navigation (DivNavig) qui n'est pas retenue afin de ne pas perdre de sites sur ce critère. Dans le cas de cette variable, nous avons considéré que l'absence de donnée correspondait, de façon générale, à l'absence de navigation commerciale.

Après ce premier tri sur les données manquantes, on applique un filtre sur les modalités de 12 pressions, mais de façon différenciée selon la zone de Huet considérée.

De façon générale, les critères sont plus sélectifs dans la zone à truite où quasiment aucune pression physique n'est acceptée et où la qualité de l'eau est très bonne à bonne.

**Tableau 38 – Liste des variables et de leurs modalités qui autorisent (en bleu) ou qui empêchent (en rouge) l'appartenance au jeu de « calibration » pour la zone à truite.**

Variable	Modalité 1	Modalité 2	Modalité 3	Modalité 4	Modalité 5
BarAv	oui	partiel	non		
HydroModifie	fort	moyen	faible	nul	
HydroEclus	fort	moyen	faible	nul	
HydroQres	fort	moyen	faible	nul	
HydroPrelev	fort	moyen	faible	nul	
MorphoFaciesRete	fort	moyen	faible	nul	
MorphoRectif	rectifie	intermediaire	nul		
MorphoRecal	recalibre	intermediaire	nul		
DivEtang	fort	faible	nul		
iMOOX	5	4	3	2	1
CL_MOOX	5	4	3	2	1
PollEutroph	fort	moyen	faible	nul	

Dans la zone à ombre, les critères retenus sont identiques à ceux utilisés pour le premier jeu de « calibration » à critère unique.

**Tableau 39 – Liste des variables et de leurs modalités qui autorisent (en bleu) ou qui empêchent (en rouge) l'appartenance au jeu de « calibration » pour la zone à ombre.**

Variable	Modalité 1	Modalité 2	Modalité 3	Modalité 4	Modalité 5
BarAv	oui	partiel	non		
HydroModifie	fort	moyen	faible	nul	
HydroEclus	fort	moyen	faible	nul	
HydroQres	fort	moyen	faible	nul	
HydroPrelev	fort	moyen	faible	nul	
MorphoFaciesRete	fort	moyen	faible	nul	
MorphoRectif	rectifie	intermediaire	nul		
MorphoRecal	recalibre	intermediaire	nul		
DivEtang	fort	faible	nul		
iMOOX	5	4	3	2	1
CL_MOOX	5	4	3	2	1
PollEutroph	fort	moyen	faible	nul	

Pour la zone à barbeau, la solution est moins restrictive en ce concerne la qualité de l'eau, la classe 3 de iMOOX ou CL\_MOOX étant acceptée.

**Tableau 40 – Liste des variables et de leurs modalités qui autorisent (en bleu) ou qui empêchent (en rouge) l'appartenance au jeu de « calibration » pour la zone à barbeau.**

Variable	Modalité 1	Modalité 2	Modalité 3	Modalité 4	Modalité 5
BarAv	oui	partiel	non		
HydroModifie	fort	moyen	faible	nul	
HydroEclus	fort	moyen	faible	nul	
HydroQres	fort	moyen	faible	nul	
HydroPrelev	fort	moyen	faible	nul	
MorphoFaciesRete	fort	moyen	faible	nul	
MorphoRectif	rectifie	intermediaire	nul		
MorphoRecal	recalibre	intermediaire	nul		
DivEtang	fort	faible	nul		
iMOOX	5	4	3	2	1
CL_MOOX	5	4	3	2	1
PollEutroph	fort	moyen	faible	nul	

Finalement, dans la zone à Brème, la condition relative au critère d'eutrophisation (PollEutroph) est également relaxée, l'état moyen étant accepté.

**Tableau 41 – Liste des variables et de leurs modalités qui autorisent (en bleu) ou qui empêchent (en rouge) l'appartenance au jeu de « calibration » pour la zone à brème.**

Variable	Modalité 1	Modalité 2	Modalité 3	Modalité 4	Modalité 5
BarAv	oui	partiel	non		
HydroModifie	fort	moyen	faible	nul	
HydroEclus	fort	moyen	faible	nul	
HydroQres	fort	moyen	faible	nul	
HydroPrelev	fort	moyen	faible	nul	
MorphoFaciesRete	fort	moyen	faible	nul	
MorphoRectif	rectifie	intermediaire	nul		
MorphoRecal	recalibre	intermediaire	nul		
DivEtang	fort	faible	nul		
iMOOX	5	4	3	2	1
CL_MOOX	5	4	3	2	1
PollEutroph	fort	moyen	faible	nul	

Au total, on sélectionne ainsi un jeu de données de 343 stations et 1 664 opérations. À ce stade, on sélectionne donc des stations de « calibration » avec des conditions restrictives sur certaines opérations en tenant compte de la zonation de Huet.

### 3<sup>e</sup> étape : sélection d'une opération par site

Afin de garantir au mieux l'indépendance des données, il convient de ne conserver qu'une seule opération par station.

Pour cela, on applique les mêmes préférences sur certaines variables que dans le cas antérieur :

- on choisit préférentiellement les pêches par points ;
- pour la DiR 3, on préfère les pêches postérieures à 2002 et les opérations qui n'ont pas été effectuées à pied lorsqu'elles ont été faites partiellement sur les berges ;
- on préférera une stratégie d'échantillonnage définie en évitant au maximum les pêches partielles de berges ;
- on ne considère finalement que les pêches où les effectifs sont supérieurs à 100 individus ;
- en dernier lieu, on effectue un tirage au sort (de manière reproductible) pour ne conserver plus qu'une seule opération par station.

Au terme de cette étape, on a donc le même nombre d'opérations que de stations sélectionnées, à savoir 343.

Sur l'ensemble du jeu de données de la base IPR+, les 343 sites sélectionnés par l'IRSTEA pour appartenir au jeu de « calibration » se répartissent comme indiqués dans le tableau et la figure ci-dessous.

Ces 343 sites sont relativement bien distribués spatialement sur l'ensemble du territoire métropolitain et de la Corse, même si certaines régions sont un peu plus favorisées que d'autres (Normandie, Corse...). L'absence de site dans certaines régions est assez logique compte tenu du niveau d'anthropisation des ces zones et du niveau de dégradation de ces dernières (faible présence de sites sélectionnés dans la DiR 4).

**Tableau 42 – Répartition par DiR des 343 opérations de « calibration ».**

DiR1	DiR2	DiR3	DiR4	DiR5	DiR6	DiR7	DiR8	DiR9
67	19	80	11	26	17	45	49	29

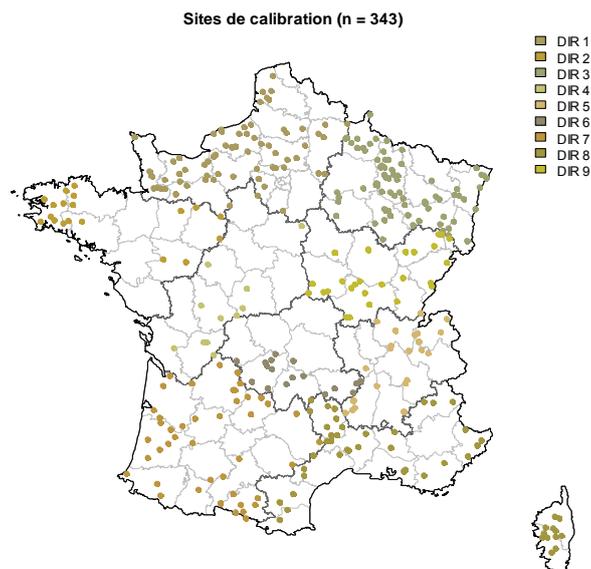


Figure 32 – Distribution spatiale de l'ensemble des stations de « calibration » de la base de données IPR+ avec acceptation sans condition de l'avis des DiR.

#### 4<sup>e</sup> étape : sélection finale des sites de « calibration »

Afin de garantir au mieux l'indépendance des données, si plusieurs sites sont distants de moins de 10 km dans un même bassin IPR, un seul sera conservé par tirage aléatoire. Sur les 343 stations présélectionnées, 65 stations sont ainsi retirées et, par conséquent, **278 sites sont donc conservés dans le jeu de « calibration » final.**

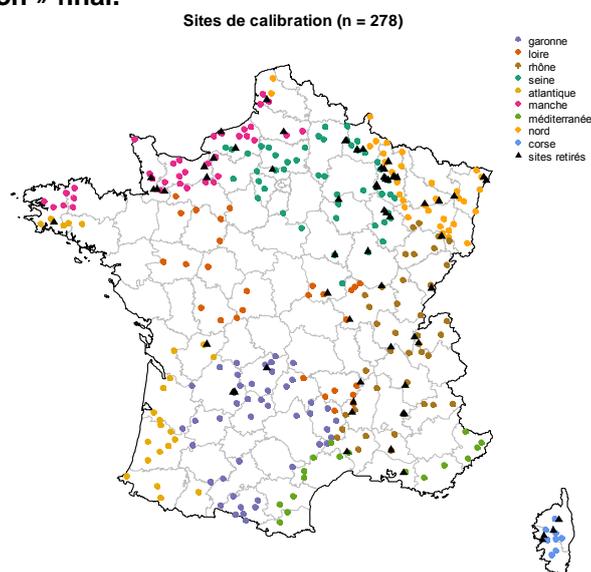


Figure 33 – Distribution spatiale de l'ensemble des 278 stations de « calibration » de la base de données IPR+ après retrait des sites distants de moins de 10 km au sein d'un même bassin IPR (triangles noirs).

Tableau 43 – Répartition par DiR des opérations finales de « calibration ».

DiR1	DiR2	DiR3	DiR4	DiR5	DiR6	DiR7	DiR8	DiR9
55	18	55	10	18	15	43	42	22

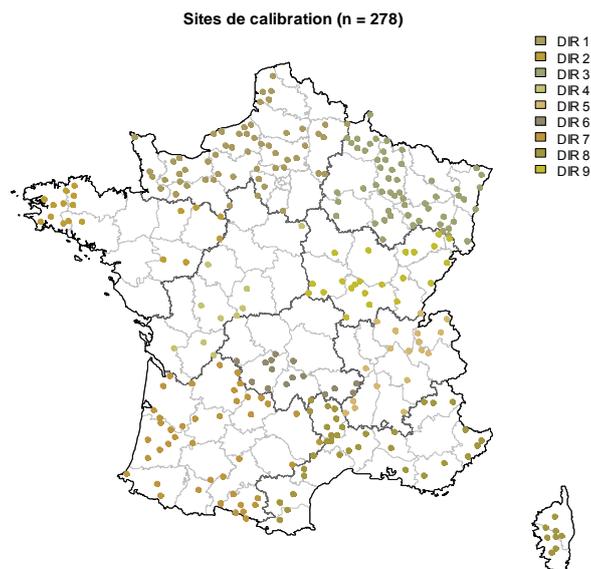


Figure 34 – Répartition par DiR des 278 opérations finales de « calibration ».

## 4.4 Comparaison des sites de « référence » et de « calibration »

### 4.4.1 Par rapport à la zonation de Huet

La distribution longitudinale des sites est sensiblement différente. Le jeu de « référence » est largement dominé par la zone à truite (plus de la moitié des sites). À l'inverse, la zone à brème est mieux représentée dans le jeu de « calibration » (35 sites contre 13) sans que ce nombre soit cependant très élevé.

Tableau 44 – Zonation des sites des deux jeux de données.

Jeu de données	Brème	Barbeau	Ombre	Truite	Total
Référence	13	58	48	140	259
Calibration	35	93	65	85	278

Au total, on peut noter une meilleure répartition des sites sur le gradient amont-aval pour le jeu de « calibration ».

### 4.4.2 Par rapport à l'indice de pressions synthétique général

#### Sites de « référence »

La grande majorité des sites de « référence » appartient aux deux premières classes de l'indice de pressions synthétique général n° 1 (toutes les zones)

Tableau 45 – Répartition des sites de « référence » au sein des classes du premier indice de pressions général (N.B. : les sites manquants sont ceux pour lesquels l'indice de pressions ne peut être calculé).

Sites de référence	gp1	gp2	gp3	gp4	gp5
non	201	336	328	263	90
oui	174	47	10	0	0

Seule une minorité de sites appartient à la classe gp3 et aucun site n'appartient aux deux dernières classes. Le positionnement de certains sites en classe gp3 s'explique par le fait que ceux-ci sont tirés sur le deuxième axe de l'analyse multivariée par les variables hydrologiques, en particulier un débit réservé faible et, dans une moindre mesure, une faible pression des régimes d'éclusee et également un recalibrage intermédiaire (modalités ayant été admises dans le jeu de « référence »).

Le nombre relativement élevé de sites n'appartenant pas au jeu de « référence » et étant toutefois dans les deux premières classes de l'indice de pressions général n° 1 est dû au fait que certains sites avaient, dans un premier temps, été sélectionnés mais que, par la suite, ils ont été écartés par l'ONEMA en raison d'autres critères (e.g. hydrologie ou température exceptionnelles) que ceux ayant servi à établir le jeu de « référence ». Au regard de critères choisis par l'IRSTEA, ces sites sont donc peu soumis aux pressions et sont donc logiquement classés dans les deux premiers groupes de l'indice de pressions général n° 1, mais ils ne font plus partie du jeu de « référence ».

Tout comme pour le premier indice, la majorité des sites de « référence » appartient à la classe gp0 du second indice de pressions synthétique général.

*Tableau 46 – Répartition des sites de « référence » au sein des classes du second indice de pressions général.*

Sites de calibration	gp0	gp3	gp4	gp5
non	664	247	226	81
oui	190	33	8	0

La raison qui explique que certains sites sont en classe gp3 est la même que celle invoquée pour le premier indice. De nombreux sites n'appartenant pas au jeu de « calibration » sont en classe gp0 pour la même raison que précédemment, et aussi à cause du fait que la classe gp0 correspond au regroupement des classes gp1, gp2 et une partie des sites de gp3, ce qui gonfle artificiellement le nombre de sites dans cette première classe.

De plus, le second axe de l'ACM n'est construit que sur les variables hydrologiques alors que le premier axe est construit avec toutes les autres pressions ; la sélection des sites de « calibration » a été réalisée avec une majorité de critères non hydrologiques, il est donc logique que de nombreux sites n'appartenant pas au jeu de « référence » se retrouvent en gp0, car nombre d'entre eux peuvent ne pas présenter de pressions hydrologiques fortes, mais subir, par ailleurs, de fortes pressions morphologiques ou chimiques.

L'indice de pressions général n° 2 doit donc être utilisé avec précaution. Dans la mesure où il rend compte uniquement des pressions hydrologiques, il est peut-être préférable d'examiner les effets de ces dernières une à une.

#### **Sites de « calibration »**

Comme logiquement attendu, le nombre de sites de « calibration » présents dans le groupe de pressions 3 est plus élevé que précédemment (26 au lieu de 11). On observe également 4 sites dans le groupe 4 : ces sites apparaissent d'abord comme affectés par des dégradations morphologiques, mais ils ne cumulent pas un grand nombre de pressions. La plupart des sites restent cependant positionnés en groupe 1.

*Tableau 47 – Répartition des sites de « calibration » au sein des classes du premier indice de pressions général.*

Sites de calibration	gp1	gp2	gp3	gp4	gp5
non	219	320	308	259	84
oui	150	68	27	4	0

La distribution de ces sites de « calibration » sur le 2<sup>nd</sup> indice de pressions est comparable au jeu de « calibration » précédent.

*Tableau 48 – Répartition des sites de « calibration » au sein des classes du second indice de pressions général.*

Sites de calibration	gp0	gp3	gp4	gp5
non	649	249	209	83
oui	66	52	131	0

Le croisement entre zonation de Huet et classes de pressions (indice n° 1) permet de bien visualiser la différence entre les 2 jeux de données : une plus grande sévérité à l'amont et une moindre à l'aval pour le jeu de « calibration ».

Tableau 49 – Répartition des sites de « référence » par zones de Huet et classes de pressions.

Zone	gp1	gp2	gp3	gp4	gp5
Brème	6	6	0	0	0
Barbeau	25	16	10	0	0
Ombre	30	11	0	0	0
Truite	113	14	0	0	0

Tableau 50 – Répartition des sites de « calibration » par zones de Huet et classes de pressions.

Zone	gp1	gp2	gp3	gp4	gp5
Brème	9	15	7	3	0
Barbeau	33	34	17	1	0
Ombre	33	19	3	0	0
Truite	75	0	0	0	0

#### 4.4.3 Caractéristiques environnementales des sites

Tableau 51 – Résumé des variables environnementales des sites appartenant au jeu de « référence ».

STRAHL_CEMAG	REG4_GV	REG3_GV	GEOL1	DIST_DiR
Min. : 1.000	reg_ng: 20	reg_pf: 97	c:130	Min. : 0.30
1st Qu.: 1.000	reg_pf: 97	reg_pm:125	s:129	1st Qu.: 6.00
Median : 2.000	reg_pm:125	reg_png: 37		Median : 12.30
Mean : 2.524	reg_pn: 17			Mean : 35.19
3rd Qu.: 4.000				3rd Qu.: 30.00
Max. : 7.000				Max. : 793.00
NA's :11.000				

DMER_DAST	BV_FINAL	ALT	PENT	TJANV
Min. : 1.9	Min. : 1.0	Min. : 5.0	Min. : 0.100	Min. : -3.000
1st Qu.:109.1	1st Qu.: 20.0	1st Qu.: 89.5	1st Qu.: 2.435	1st Qu.: 1.500
Median :376.5	Median : 61.0	Median : 259.0	Median : 6.900	Median : 3.300
Mean :376.6	Mean : 968.2	Mean : 390.8	Mean : 14.127	Mean : 3.123
3rd Qu.:561.8	3rd Qu.: 252.5	3rd Qu.: 590.0	3rd Qu.: 18.150	3rd Qu.: 4.750
Max. :960.7	Max. :86110.0	Max. :1800.0	Max. :154.000	Max. :11.903

TMIN_AN	TJUIL	TMAX_AN	POW	LONGSTA
Min. : -11.200	Min. :13.40	Min. :15.30	Min. : 502	Min. : 44.0
1st Qu.: -3.100	1st Qu.:18.20	1st Qu.:21.60	1st Qu.: 34169	1st Qu.: 108.0
Median : -1.400	Median :19.20	Median :23.00	Median : 74938	Median : 142.0
Mean : -1.627	Mean :19.42	Mean :23.21	Mean : 217258	Mean : 246.3
3rd Qu.: 0.250	3rd Qu.:20.60	3rd Qu.:24.80	3rd Qu.: 196606	3rd Qu.: 199.0
Max. : 4.400	Max. :25.43	Max. :30.60	Max. :5469455	Max. :5215.0

TEAUESTIV	DURETE	LAC	PRES_EW	OS_CLC
Min. : 11.90	Min. : 1.80	non:258	a: 23	ag: 73
1st Qu.: 17.07	1st Qu.: 13.70	oui: 1	f: 89	fo:152
Median : 18.50	Median : 34.00		m: 12	pr: 34
Mean : 19.10	Mean : 60.21		u: 24	ur: 0
3rd Qu.: 20.90	3rd Qu.:103.75		v: 4	
Max. : 28.70	Max. :280.00		x:107	
NA's :195.00	NA's :165.00			

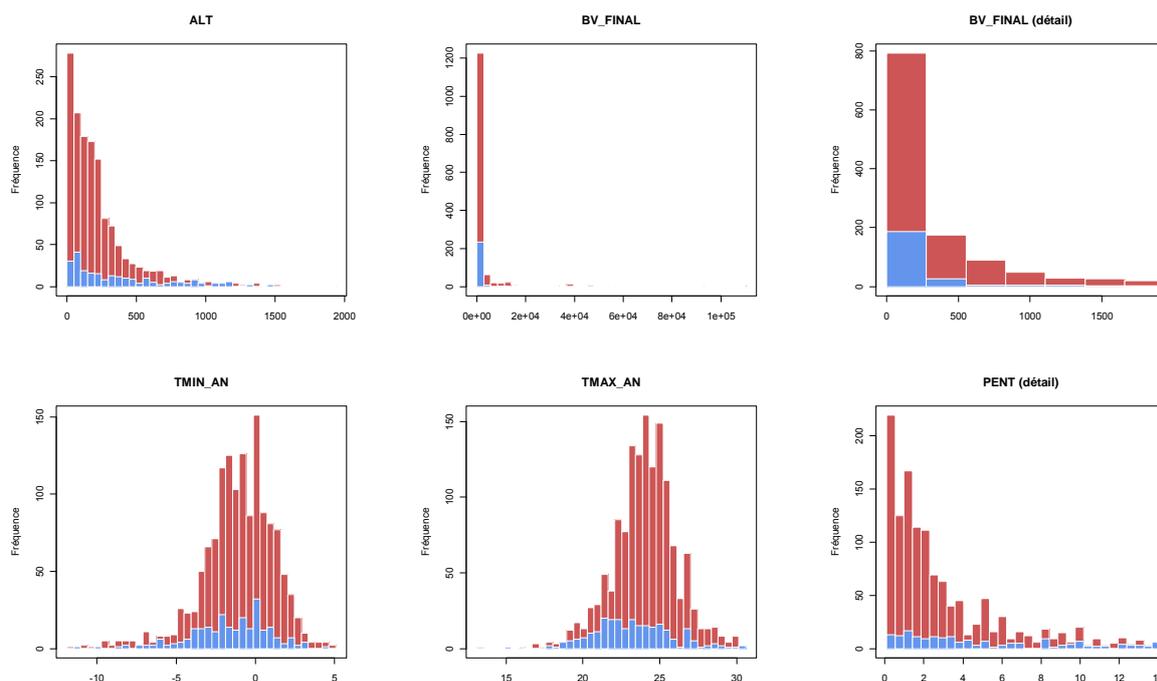


Figure 35 – Distribution des variables environnementales pour les sites de « référence » (en bleu) et les autres sites (en rouge) sur lesquels seront effectuées les prédictions.

Tableau 52 – Résumé des variables environnementales des sites appartenant au jeu de « calibration ».

<b>STRAHL_CEMAG</b>	<b>REG4_GV</b>	<b>REG3_GV</b>	<b>GEOL1</b>	<b>DIST_DiR</b>
Min. : 1.000	reg_ng: 14	reg_pf : 93	c:152	Min. : 0.30
1st Qu.: 1.000	reg_pf: 93	reg_pm :157	s:126	1st Qu.: 8.00
Median : 2.500	reg_pm:157	reg_png: 28		Median : 20.00
Mean : 2.740	reg_pn: 14			Mean : 45.64
3rd Qu.: 4.000				3rd Qu.: 45.00
Max. : 7.000				Max. : 893.00
NA's :16.000				
<b>DMER_DAST</b>	<b>BV_FINAL</b>	<b>ALT</b>	<b>PENT</b>	<b>TJANV</b>
Min. : 1.9	Min. : 1.00	Min. : 4.0	Min. : 0.100	Min. : -3.000
1st Qu.: 97.7	1st Qu.: 33.62	1st Qu.: 75.0	1st Qu.: 1.320	1st Qu.: 2.000
Median :367.2	Median : 124.50	Median : 173.0	Median : 3.000	Median : 3.750
Mean :365.8	Mean : 1419.56	Mean : 296.3	Mean : 9.825	Mean : 3.573
3rd Qu.:569.6	3rd Qu.: 347.75	3rd Qu.: 374.2	3rd Qu.: 9.875	3rd Qu.: 5.400
Max. :960.7	Max. :110248.00	Max. :1800.0	Max. :125.000	Max. :12.519
<b>TMIN_AN</b>	<b>TJUIL</b>	<b>TMAX_AN</b>	<b>POW</b>	<b>LONGSTA</b>
Min. : -8.500	Min. :13.40	Min. :17.90	Min. : 502	Min. : 52.0
1st Qu.: -2.300	1st Qu.:18.40	1st Qu.:21.80	1st Qu.: 26551	1st Qu.: 113.0
Median : -0.800	Median :19.40	Median :23.60	Median : 65106	Median : 154.5
Mean : -1.081	Mean :19.61	Mean :23.53	Mean : 219502	Mean : 266.7
3rd Qu.: 0.475	3rd Qu.:20.88	3rd Qu.:25.18	3rd Qu.: 162294	3rd Qu.: 230.8
Max. : 4.800	Max. :26.11	Max. :30.60	Max. :11303952	Max. :5215.0
<b>TEAUESTIV</b>	<b>DURETE</b>	<b>LAC</b>	<b>PRES_EW</b>	<b>OS_CLC</b>
Min. : 11.90	Min. : 2.10	non:278	a: 33	ag: 99
1st Qu.: 16.57	1st Qu.: 14.20	oui: 0	f: 70	fo:135
Median : 18.60	Median : 52.00		m: 13	pr: 44
Mean : 18.74	Mean : 67.45		u: 24	ur: 0
3rd Qu.: 20.82	3rd Qu.:110.25		v: 3	
Max. : 26.00	Max. :300.00		x:135	
NA's :230.00	NA's :191.00			

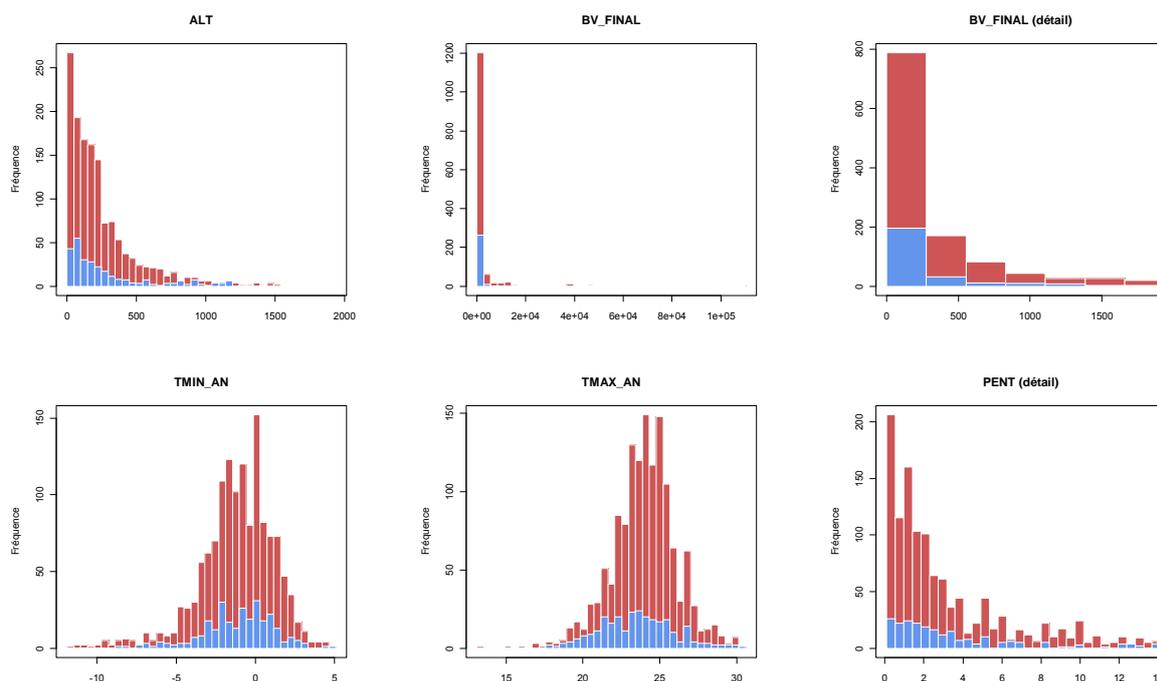


Figure 36 – Distribution des variables environnementales pour les sites de « calibration » (en bleu) et les autres sites (en rouge) sur lesquels seront effectuées les prédictions.

Les différences essentielles relevées dans le jeu de « calibration » concernent :

- une meilleure présence des sites à grand bassin versant (médiane de 125 km<sup>2</sup> contre 61 km<sup>2</sup>) ;
- une distance à la source médiane plus grande (20 km contre 12 km) ;
- une altitude médiane plus faible (173 m contre 391 m) ;
- une pente médiane plus faible (3 m/km contre 7 m/km)

À l'inverse, la dominance d'un couvert forestier sur le bassin versant est comparable ; il en est de même pour la largeur du lit.

Cependant, même dans le cas du jeu de « calibration », il faut noter une sous-représentation des grands cours d'eau (bassin versants > à 10 000 km<sup>2</sup>), bien que quelques sites de ce type soient présents. Les milieux froids sont surreprésentés (voir le chapitre relatif à la modélisation pour la comparaison des sites de « calibration » et des sites perturbés).

La comparaison des distributions des principales variables environnementales entre le jeu de « calibration » et les autres sites sur lesquels seront appliquées les prédictions permet d'apprécier les limites *a priori* d'application des futurs modèles.

Les implications de ces différences environnementales, en termes de richesse, sont présentées ci-après.

D'un point de vue temporel, les sites de « référence » et de « calibration » se distribuent comme suit.

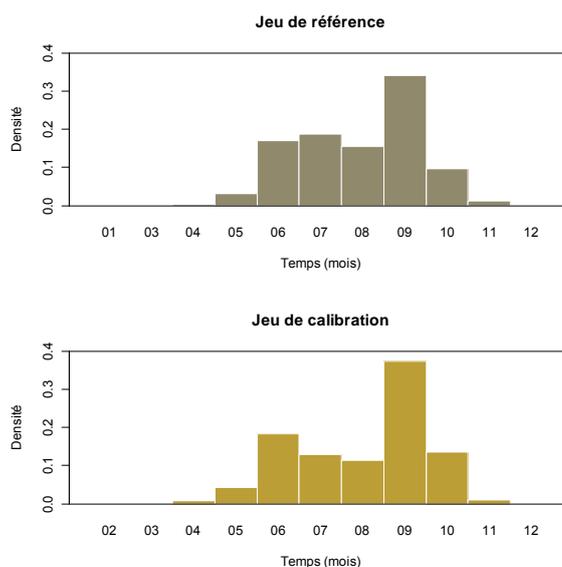


Figure 37 – Distribution temporelle des stations des jeux de données de « référence » et de « calibration ».

Tableau 53 – Distribution temporelle détaillée des sites de « référence ».

Année	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1998	0	0	0	0	1	7	11	9	11	8	0	0
1999	0	0	0	1	0	1	0	0	3	0	1	0
2000	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	0
2001	0	0	0	0	1	0	1	2	1	2	0	0
2002	0	0	0	0	1	0	4	1	9	1	0	0
2003	0	0	0	0	0	2	1	1	4	1	0	0
2004	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	0
2005	0	0	0	0	3	22	15	14	31	5	1	0
2006	0	0	0	0	2	5	7	3	11	3	0	0
2007	0	0	0	0	2	9	6	5	15	6	0	0

Tableau 54 – Distribution temporelle détaillée des sites de « calibration ».

Année	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1998	0	0	0	0	1	5	8	6	10	11	0	0
1999	0	0	0	1	0	1	0	4	4	0	0	0
2000	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0
2001	0	0	0	0	1	1	0	3	4	2	0	0
2002	0	0	0	1	1	2	2	1	8	1	0	0
2003	0	0	0	0	0	3	1	1	9	1	0	0
2004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0
2005	0	0	0	0	3	21	11	8	29	5	1	0
2006	0	0	0	0	2	4	6	1	12	4	0	0
2007	0	0	0	0	4	13	8	8	27	12	0	0

#### 4.4.4 Caractéristiques piscicoles des sites

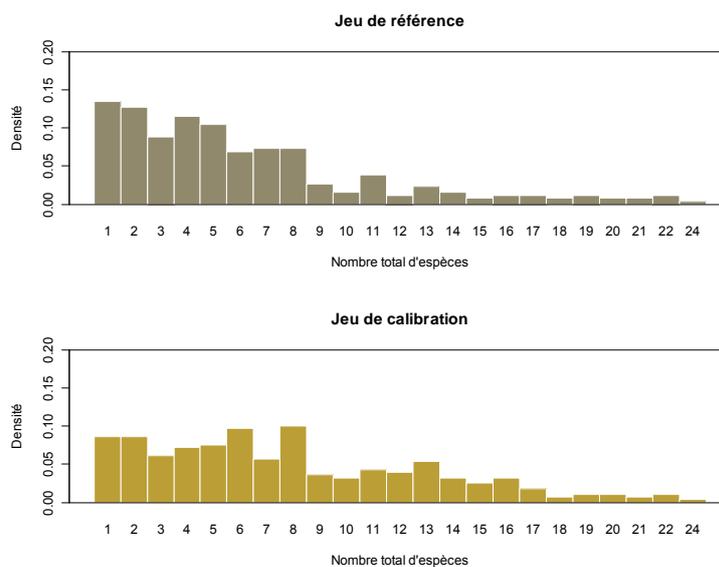


Figure 38 – Distribution du nombre total d'espèces pour les stations des jeux de données de « référence » et de « calibration ».

Dans le cas du jeu de « référence », la richesse médiane est de 5 espèces contre 7 pour le jeu de « calibration ». De plus, le nombre de sites à richesse limitée à une espèce représente 8,6 % du nombre total contre 13,5 % pour le jeu de « référence ». De la même manière, le nombre de sites à richesse inférieure ou égale à 4 espèces est de 30,6 % contre 46,7 %.

## 5 Métriques candidates

### 5.1 Sélection des espèces prises en compte

En préalable à toute considération taxonomique, il convient de définir précisément le matériel biologique sur lequel l'IPR+ va être construit.

#### Écrevisses

Seuls les poissons sont considérés, y compris les lamproies. Par conséquent, les écrevisses (*Austropotamobius pallipes* (APP), *Astacus astacus* (ASA), *Astacus leptodactylus* (ASL), *Orconectes limosus* (OCL), *Procambarus clarkii* (PCC) et *Pacifastacus leniusculus* (PFL)) ne sont pas prises en compte et sont écartées des données.

Ces espèces ne devront donc pas être considérées dans le calcul de l'IPR+, y compris dans le calcul des effectifs totaux et des richesses par échantillon.

On s'intéressera donc ici aux poissons en dépit du fait qu'ils ne représentent pas un groupe monophylétique — comprenant une espèce ancestrale et tous ses descendants et est défini par au moins une synapomorphie —, mais un groupe paraphylétique — comprenant une espèce ancestrale et une partie seulement de ses descendants, et est défini par au moins une symplesiomorphie ou une absence de caractère (Lecointre & Le Guyader, 2009). Dans notre approche, ce choix ne cause pas de problème particulier car les démarches mises en œuvre pour l'élaboration du nouvel indicateur poisson rivière abordent les communautés non pas sous un angle strictement phylogénétique mais du point de vue des traits fonctionnels des espèces en place.

Pour autant, avant de définir les guildes « fonctionnelles » et de débiter l'étape de la modélisation, il convient de préciser comment est calculée la richesse spécifique. Il est nécessaire de régler les problèmes taxonomiques pour ne pas biaiser les calculs lors de la construction des modèles.

#### Espèces non acclimatées

Les espèces exotiques ne se reproduisant pas ne sont pas retenues à la fois dans l'établissement des métriques candidates et dans le calcul de la richesse totale. Dans notre jeu de données, ce sont :

- *Hypophthalmichthys molitrix* (CAR),
- *Ctenopharyngodon idella* (CTI),
- *Aristichthys nobilis* (CGT),
- *Pimephales promelas* (PIM, avec quelques incertitudes sur sa reproduction),
- *Oncorhynchus mykiss* (TAC).

Les individus qui les représentent sont, en revanche, comptabilisés dans les effectifs totaux, ceci afin de tenir compte de leur impact sur les abondances relatives des guildes retenues.

#### Individus indéterminés et hybrides

Les individus indéterminés tels que les hybrides brème-gardon (BRG), les hybrides de cyprinidés (HYC) et les juvéniles de cyprinidés (CYP) ne sont également pas pris en considération dans le calcul des métriques et des richesses totales. En revanche, ces individus rentrent dans le calcul des effectifs totaux pour le même motif que précédemment.

#### Regroupement d'espèces ou de sous-espèces

Par ailleurs, des regroupements d'espèces ont été réalisés. Cela concerne :

- les carpes (CCO, CCU et CMI),
- les carassins (CAS, CAG, CAD, CAA),
- les truites *Salmo trutta* (TRF, TRC, TRL et TRM),
- les aloses *Alosa fallax* (ALF et ALR),
- les gambusies *Gambusia affinis* (GAM) et *Gambusia holbrooki* (sans code).

Dans le cas des truites, le regroupement de TRM avec les autres formes pour le calcul de la richesse pose une question particulière dans la mesure où cette forme est diadrome (LONG-LMA) alors que les

autres sont potamodromes (POTAD). Les autres traits bio-écologique sont similaires. Il faut rappeler ici que les espèces diadromes font l'objet d'une métrique spécifique et que les modalités LONG-LMA et LONG-LMC ne seront pas considérées comme des métriques candidates lors de la modélisation générale. À l'inverse, on peut considérer qu'une espèce diadrome est forcément potamodrome.

### Taxons non identifiés à l'espèce

Ce cas se pose pour les lamproies où les individus ne sont pas toujours différenciés (notés LPX) entre la lamproie de planer (LPP) et la lamproie de rivière (LPR). En présence de l'une ou l'autre des deux espèces, le taxon LPX ne sera pas comptabilisé dans la richesse, mais en leur absence il le sera. Les deux espèces LPP et LPR présentant des profils fonctionnels similaires pour toutes les guildes, ce cas ne pose pas problème pour les métriques basées sur l'abondance ou la biomasse.

### Espèces marines et estuariennes

Les espèces marines (*Dicentrarchus labrax* (LOU), *Dicentrarchus punctatus* (LOM) et *Pleuronectes platessa* (PLI)) et estuariennes (*Atherina boyeri* (ATB), *Atherina presbyter* (ATH), *Chelon labrosus* (MGL), *Liza aurata* (MUD), *Liza ramada* (MUP), *Liza saliens*, *Mugil cephalus* (MUC), *Pomatoschistus microps*, *Pomatoschistus minutus* (GOB)) ne sont pas prises en compte dans les guildes « fonctionnelles ». L'indicateur IPR+ est dédié aux rivières et ne peut donc réellement se baser sur des espèces effectuant une large part de leur cycle dans des milieux autres que les cours d'eau. Lorsque ces espèces sont présentes dans l'échantillon, elles ne seront pas considérées dans les calculs de métriques basées sur la richesse, ni dans la richesse totale, mais leurs individus seront considérés dans le calcul de l'effectif total.

À l'avenir, il y aura donc lieu de définir une proportion maximale d'espèce estuaro-marines au delà de laquelle l'IPR+ ne pourra plus s'appliquer.

### Espèces mal définies en termes biologique ou écologique

Les espèces pour lesquelles les lacunes dans les données de traits biologiques et écologiques sont trop importantes (*Acipenser baerii*, *Ambloplites rupestris* (CDR), *Aphanius fasciatus* (APC), *Aphanius iberus* (APE), *Pimephales promelas* (PIM)) sont elles aussi écartées des guildes.

Une liste complète des espèces retenues pour les définitions des guildes et des métriques qui en découlent est présentée en annexe 4.

### Position générale par rapport aux espèces considérées comme invasives

Ce point sera à réexaminer ultérieurement. Il convient d'attendre la définition de cette liste d'espèces par le groupe en charge de cette question à l'ONEMA (contact : N. Poulet).

## 5.2 Guildes retenues pour la modélisation

Les guildes retenues pour la modélisation sont présentées ci-dessous. Elles correspondent aux différentes modalités d'une liste de 12 traits biologiques et écologiques. Ces traits et leurs modalités sont, pour l'essentiel, communs avec ceux établis lors des projets européens FAME (Pont *et al.*, 2006) puis modifiés sur la base des résultats rendus par un collège d'experts européens dans le cadre du projet EFI+ (Holzer, 2008 ; EFI+ Consortium, 2009).

Tableau 55 – Guildes « fonctionnelles » et traits biologiques associés considérés pour la modélisation.

Trait	Modalité 1	Modalité 2	Modalité 3	Modalité 4	Modalité 5	Modalité 6
EauGeneral	INTOL	IM	TOL			
EauO2	O2INTOL	O2IM	O2TOL			
EauTemp	EUTHER	STTHER				
HabGlob	HINTOL	HIM	HTOL			
HabRepro	EUPAR	LIPAR	RHPAR			
HabRheo	EURY	LIMNO	RH			
HabTroph	B	WC				
Migration	POTAD	RESID				
PC	NOP	PROT				
Repro	LITH	OSTR	PHLI	PHYT	VIVI	
ReproB	FR	PRO	SIN			
Troph	DETR	HERB	PLAN	INSV	PISC	OMNI

Pour le trait décrivant la trophie, une modalité agrégeant les deux modalités INSV et PISC (INSV-PISC) a été ajoutée, ce qui porte le nombre total de modalités à 37.

D'assez nombreuses modalités ont cependant été révisées pour tenir compte de la situation particulière à l'échelle de la France. Une première révision de cette classification réalisée par l'IRSTEA d'Antony a ensuite été soumise pour avis aux DiR de l'ONEMA et l'essentiel des remarques a été intégré.

Par ailleurs, les traits biologiques et écologiques correspondent à la propriété observée à l'état adulte pour chaque espèce, sauf dans les cas où seul un stade de croissance est rencontré dans les cours d'eau (e.g. chez la lamproie de planer).

Les comportements de migration anadrome et catadrome ne sont pas retenus ici. L'utilisation de ce trait biologique fait l'objet d'une métrique particulière dans la mesure où elle rend compte, non pas de la qualité locale du milieu, mais du degré de connectivité entre le tronçon considéré et la mer.

Le tableau ci-dessous résume la liste des traits et des guildes retenus.

*Tableau 56 – Traits biologiques considérés pour chacune des espèces de poissons du jeu de données IPR+.*

Trait	Code trait	Modalité	Code mod.	Description
Tolérance à la qualité générale de l'eau	EauGeneral	tolérant	TOL	En général, le poisson est tolérant à la qualité d'eau
Tolérance à la qualité générale de l'eau	EauGeneral	intermédiaire	IM	En général, le poisson est relativement tolérant à la qualité d'eau
Tolérance à la qualité générale de l'eau	EauGeneral	intolérant	INTOL	En général, le poisson est intolérant à la qualité d'eau
Tolérance à la concentration en dioxygène	EauO2	tolérant	O2TOL	Le poisson est tolérant aux basses concentrations en O <sub>2</sub> (3 mg/l ou moins)
Tolérance à la concentration en dioxygène	EauO2	intermédiaire	O2IM	Le poisson est relativement tolérant aux basses concentrations en O <sub>2</sub> (entre 3 mg/l et 6 mg/l)
Tolérance à la concentration en dioxygène	EauO2	intolérant	O2INTOL	Le poisson est intolérant aux basses concentrations en O <sub>2</sub> (6 mg/l ou plus)
Tolérance à la température	EauTemp	eurytherme	EUTHER	Le poisson est capable de supporter une large gamme de température
Tolérance à la température	EauTemp	stenotherme	STTHER	Le poisson est seulement capable de résister à une gamme étroite de températures
Tolérance à la dégradation de l'habitat	HabGlob	tolérant	HTOL	Le poisson est tolérant à la dégradation de l'habitat
Tolérance à la dégradation de l'habitat	HabGlob	intermédiaire	HIM	Le poisson est relativement tolérant à la dégradation de l'habitat
Tolérance à la dégradation de l'habitat	HabGlob	intolérant	HINTOL	Le poisson est intolérant à la dégradation de l'habitat
Degré de rhéophilie (habitat)	HabRheo	rhéophilique	RH	Le poisson préfère vivre dans un habitat présentant des conditions de vitesses élevées et de l'eau claire
Degré de rhéophilie (habitat)	HabRheo	eurytopique	EURY	Le poisson présente une grande tolérance aux conditions d'écoulement, bien qu'il ne soit généralement pas considéré comme rhéophile
Degré de rhéophilie (habitat)	HabRheo	limnophilique	LIMNO	Le poisson préfère vivre, se nourrir et se reproduire dans un habitat à écoulement lent voir dans des conditions stagnantes
Habitat d'alimentation	HabTroph	colonne d'eau	WC	Le poisson vit et se nourrit dans la colonne d'eau. En général, il ne va pas au fond pour rechercher la nourriture
Habitat d'alimentation	HabTroph	benthique	B	Le poisson préfère vivre près du fond où il se nourrit. En général, il ne va pas à la surface pour rechercher la nourriture
Régime alimentaire	Troph	détritive	DETR	Le régime alimentaire de l'adulte est composé d'une proportion élevée de détritus. Le tube digestif est

Régime alimentaire	Troph	herbivore	HERB	indifférencié Le régime alimentaire de l'adulte se compose de plus de 75 % de matériel végétal. Le poisson présente une bouche en position terminale ou subterminale possédant des lèvres cornées servant à tondre et à déchirer les végétaux aquatiques. Le tube digestif est souvent aussi long, voir plus long, que la longueur totale de l'individu
Régime alimentaire	Troph	insectivore	INSV	Le régime alimentaire de l'adulte est composé de plus de 75 % d'insectes. Le poisson présente une bouche en position terminale ou supraterminale lui permettant de capturer des proies aériennes, de la dérive et/ou des invertébrés dans la colonne d'eau. Guilde trophique la plus large et la plus diversifiée
Régime alimentaire	Troph	omnivore	OMNI	Le régime alimentaire de l'adulte se compose de plus de 25 % de végétaux et plus de 25 % d'animaux. Régime alimentaire généraliste
Régime alimentaire	Troph	piscivore	PISC	Le régime alimentaire de l'adulte se compose de plus de 75 % d'autres poissons. Le poisson présente une grande bouche avec des dents effilées, des joues développées (os palatins). Il poursuit sa proie en la harcelant, en la chassant ou en l'approchant en embuscade
Régime alimentaire	Troph	planctivore	PLAN	Le régime alimentaire de l'adulte est composé de plus de 75 % du zooplancton et/ou du phytoplancton. Le poisson présente de fines branchiospines et de longues dents pharyngiennes. Il n'a pas d'estomac mais un intestin indifférencié et allongé
Migration	Migration	résident	RESID	Le poisson ne se déplace que dans un segment de rivière particulier
Migration	Migration	potamodrome	POTAD	Le poisson migre entre des zones distantes de plus de 5 à 10 km (plus d'un segment de cours d'eau)
Reproduction	Repro	lithophile	LITH	Le poisson pond exclusivement sur des graviers, galets, pierres et/ou blocs. Les premiers stades larvaires sont photophobiques
Reproduction	Repro	ostracophile	OSTR	Le poisson pond dans les coquilles des mollusques bivalves
Reproduction	Repro	phytophile	PHYT	Le poisson dépose les œufs sur les végétaux immergés dans des habitats d'eau claire
Reproduction	Repro	phyto-lithophile	PHLI	Le poisson dépose les œufs dans des habitats d'eau claire, sur des végétaux immergés ou sur d'autres substrats immergés tels que des structures ligneuses, graviers et pierres. Les larves sont photophobiques
Reproduction	Repro	vivipare	VIVI	Le poisson est vivipare
Lieu de ponte préférentiel	HabRepro	rhéopare	RHPAR	Le poisson pond préférentiellement dans les eaux courantes
Lieu de ponte préférentiel	HabRepro	eurypare	EUPAR	Pas de lieu de ponte préférentiel clairement défini
Lieu de ponte préférentiel	HabRepro	limnipare	LIPAR	La ponte est préférentiellement effectuée dans des eaux stagnantes
Comportement de reproduction	ReproB	seul	SIN	La ponte n'a lieu qu'une seule fois durant la saison de reproduction
Comportement de reproduction	ReproB	fractionnaire	FR	La ponte est fractionnée (plusieurs événements durant la saison de ponte ou la ponte à lieu à différents moments au sein d'une même population)
Comportement de reproduction	ReproB	protecteur	PRO	La ponte est protégée et se produit sur une longue période au cours de la saison de reproduction
Soin aux jeunes	PC	sans protection	NOP	Les parents n'apportent aucune protection aux œufs ou aux larves
Soin aux jeunes	PC	avec protection	PROT	Les œufs et/ou les larves sont protégés, souvent par un soin apporté par les parents (les œufs sont protégés par un nid ou d'une autre manière)

Le détail de la classification des espèces dans ces différentes catégories est fourni en annexe 5 et les listes séparées des espèces par guilde dans l'annexe 6.

Le nom des métriques observées est construit de 2 morphèmes séparés par un point : (1) le code du trait bio-écologique et (2) le code de la modalité de ce trait. Ainsi, la métrique des individus intolérants à la qualité générale de l'eau est-elle codée "EauGeneral.INTOL" ; le préfixe "EauGeneral" codant pour le trait de tolérance à la qualité générale de l'eau et le suffixe "INTOL" codant pour la modalité d'intolérance.

Une information complémentaire intéressante est liée au degré de similarité entre les guildes (cf. tableau ci-dessous).

Certains traits sont représentés par des listes faunistiques très proches. C'est le cas, par exemple, des espèces EauGeneral.INTOL avec les espèces oxyphiles, les habitat-intolérantes et les espèces à reproduction en condition rhéophile. Il en est de même entre ces dernières et les espèces lithophiles. Cela signifie que l'indépendance entre ces traits est faible et que l'on doit s'attendre à de fortes corrélations entre les métriques qui en dérivent. De plus, leurs erreurs associées, fonction de l'efficacité de l'échantillonnage, ne seront pas indépendantes.

Tableau 57 – Pourcentage d'espèces communes entre les traits.

	EauGeneral.IM	EauGeneral.INTOL	EauGeneral.TOL	EauO2.O2IM	EauO2.O2INTOL	EauO2.O2TOL	EauTemp.EUTHER	EauTemp.STTHER	Troph.DETR	Troph.HERB	Troph.INSV	Troph.INSV-PISC	Troph.OMNI	Troph.PISC	Troph.PLAN	HabGlob.HIM	HabGlob.HINTOL	HabGlob.HTOL	HabRepro.EUPAR	HabRepro.LIPAR	HabRepro.RHPAR	Hab.EURY	Hab.LIMNO	Hab.RH	HabTroph.B	HabTroph.WC	Migration.LONG-LMA	Migration.LONG-LMC	Migration.POTAD	Migration.RESID	Repro.LITH	Repro.OSTR	Repro.PHLI	Repro.PHYT	Repro.VIVI	ReproB.FR	ReproB.PRO	ReproB.SIN	PC.NOP	PC.PROT
EauGeneral.IM	0	0	34	11	0	20	13	0	6	24	4	6	16	0	45	12	3	23	6	16	28	10	11	19	16	9	6	21	12	20	7	8	7	0	23	0	14	22	6	
EauGeneral.INTOL	0	0	14	66	0	18	50	14	7	17	23	7	3	10	5	74	0	0	4	70	12	4	64	21	35	23	0	33	13	70	0	0	0	0	4	0	58	39	15	
EauGeneral.TOL	0	0	21	0	66	56	0	0	0	22	5	38	9	3	8	3	80	21	58	3	12	66	2	33	25	0	3	4	60	5	0	35	42	3	37	10	16	27	30	
EauO2.O2IM	34	14	21	0	0	48	4	3	11	29	3	18	13	0	35	17	18	25	16	24	22	19	26	29	27	9	3	26	26	24	4	21	16	0	34	3	22	32	21	
EauO2.O2INTOL	11	66	0	0	0	10	67	12	0	19	30	0	10	12	5	61	2	3	4	58	24	6	38	13	41	21	0	25	16	62	0	0	0	0	4	0	51	33	16	
EauO2.O2TOL	0	0	66	0	0	37	0	0	0	15	4	42	0	5	3	4	57	11	50	2	3	55	2	35	10	0	5	3	40	4	0	23	36	5	24	10	13	23	15	
EauTemp.EUTHER	20	18	56	48	10	37	0	2	6	32	3	35	9	8	20	23	48	19	39	30	17	47	26	47	37	9	2	22	56	30	2	25	29	2	42	6	36	56	25	
EauTemp.STTHER	13	50	0	4	67	0	0	14	0	18	36	0	8	0	10	47	0	7	5	38	23	7	28	15	30	16	5	21	13	46	0	0	0	2	0	2	0	40	25	15
Troph.DETR	0	14	0	3	12	0	2	14	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	11	0	0	15	11	0	18	0	0	2	10	0	0	0	0	0	0	9	8	0	
Troph.HERB	6	7	0	11	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	4	6	0	3	7	6	3	0	10	2	5	33	0	0	0	0	4	0	5	4	5	
Troph.INSV	24	17	22	29	19	15	32	18	0	0	0	0	0	0	18	23	21	12	22	24	19	17	27	33	21	6	4	12	38	32	0	8	14	4	26	7	23	22	32	
Troph.INSV-PISC	4	23	5	3	30	4	3	36	0	0	0	0	0	0	0	4	19	6	5	3	18	29	5	6	2	24	12	9	15	6	19	0	5	0	0	0	0	20	13	7
Troph.OMNI	6	7	38	18	0	42	35	0	0	0	0	0	0	0	23	4	30	11	32	10	9	34	7	23	17	0	0	15	29	7	0	24	32	0	37	5	11	30	6	
Troph.PISC	16	3	9	13	10	0	9	8	0	0	0	0	0	0	5	8	10	19	7	5	4	16	3	5	13	0	0	17	7	7	0	11	10	0	3	0	14	7	13	
Troph.PLAN	0	10	3	0	12	5	8	0	0	0	0	0	0	0	9	4	7	0	8	0	3	11	3	8	30	0	0	2	7	0	6	0	0	0	0	0	7	8	0	
HabGlob.HIM	45	5	8	35	5	3	20	10	0	0	18	4	23	5	0	0	18	9	14	24	10	11	11	21	5	7	13	17	15	0	12	12	0	28	0	10	18	10		
HabGlob.HINTOL	12	74	3	17	61	4	23	47	12	9	23	19	4	8	9	0	2	12	62	14	11	55	31	32	24	0	32	18	66	3	0	7	0	10	0	58	45	16		
HabGlob.HTOL	3	0	80	18	2	57	48	0	0	0	21	6	30	10	4	0	0	23	41	5	14	54	2	30	22	0	4	7	48	7	0	36	29	4	26	12	17	25	26	
HabRepro.EUPAR	23	0	21	25	3	11	19	7	0	0	12	5	11	19	7	18	2	23	0	16	21	3	15	14	5	0	7	21	6	0	39	8	0	13	0	15	15	15		
HabRepro.LIPAR	6	4	58	16	4	50	39	5	0	4	22	3	32	7	0	9	12	41	0	8	62	0	23	25	0	0	2	54	5	4	16	52	4	35	13	14	23	27		
HabRepro.RHPAR	16	70	3	24	58	2	30	38	11	6	24	18	10	5	8	14	62	5	0	0	21	2	69	30	36	22	0	45	14	83	0	2	0	0	14	0	56	51	12	
Hab.EURY	28	12	12	22	24	3	17	23	0	0	19	29	9	4	0	24	14	14	16	8	21	0	0	13	26	4	6	23	16	21	0	11	10	0	21	5	15	19	16	
Hab.LIMNO	10	4	66	19	6	55	47	7	0	3	17	5	34	16	3	10	11	54	21	62	2	0	0	31	27	0	3	4	60	6	3	31	38	3	30	7	22	29	26	
Hab.RH	11	64	2	26	38	2	26	28	15	7	27	6	7	3	11	11	55	2	3	0	69	0	30	24	30	0	31	10	65	0	0	0	0	9	0	47	40	10		
HabTroph.B	19	21	33	29	13	35	47	15	11	6	33	2	23	5	3	11	31	30	15	23	30	13	31	30	0	7	6	17	39	32	0	12	25	0	26	3	32	43	15	
HabTroph.WC	16	35	25	27	41	10	37	30	0	3	21	24	17	13	8	21	32	22	14	25	36	26	27	24	0	15	0	27	33	40	3	19	11	3	22	5	43	40	27	
Migration.LONG-LMA	9	23	0	9	21	0	9	16	18	0	6	12	0	0	30	5	24	0	5	0	22	4	0	30	7	15	0	0	0	22	0	0	0	0	0	0	21	15	4	
Migration.LONG-LMC	6	0	3	3	0	5	2	5	0	0	4	9	0	0	0	7	4	0	0	6	3	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Migration.POTAD	21	33	4	26	25	3	22	21	0	10	12	15	17	0	13	32	7	7	2	45	23	4	31	17	27	0	0	43	0	3	3	0	8	0	37	31	8			
Migration.RESID	12	13	60	26	16	40	56	13	2	2	38	6	29	7	2	17	18	48	21	54	14	16	60	10	39	33	0	0	18	2	29	34	2	47	8	24	38	34		
Repro.LITH	20	70	5	24	62	4	30	46	10	5	32	19	7	7	7	15	66	7	6	5	83	21	6	65	32	40	22	0	43	18	0	0	0	12	0	66	54	16		
Repro.OSTR	7	0	0	4	0	0	2	0	0	33	0	0	0	0	0	3	0	0	4	0	0	3	0	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	4	0	0	0	5		
Repro.PHLI	8	0	35	21	0	23	25	0	0	0	8	5	24	11	6	12	0	36	39	16	2	11	31	0	12	19	0	3	29	0	0	0	0	20	7	10	16	14		
Repro.PHYT	7	0	42	16	0	36	29	0	0	0	14	0	32	10	0	12	7	29	8	52	0	10	38	0	25	11	0	3	34	0	0	0	31	6	9	18	17			
Repro.VIVI	0	0	3	0	0	5	2	0	0	0	4	0	0	0	0	4	0	4	0	3	0	0	3	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	33	0	0	5		
ReproB.FR	23	4	37	34	4	24	42	2	0	4	26	0	37	3	0	28	10	26	13	35	14	21	30	9	26	22	0	8	47	12	4	20	31	0	0	0	28	20		
ReproB.PRO	0	0	10	3	0	10	6	0	0	0	7	0	5	0	0	0	12	0	13	0	5	7	0	3	5	0	0	8	0	0	7	6	33	0	0	0	54	19		
ReproB.SIN	14	58	16	22	51	13	36	40	9	5	23	20	11	14	7	10	58	17	15	14	56	15	22	47	32	43	21	0	37	24	66	0	10	9	0	0	54	19		
PC.NOP	22	39	27	32	33	23	56	25	8	4	22	13	30	7	8	18	45	25	15	23	51	19	29	40	43	40	15	0	31	38	54	0	16	18	0	28	2	54	0	
PC.PROT	6	15	30	21	16	15	25	15	0	5	32	7	6	13	0	10	16	26	15	27	12	16	26	10	15	27	4	0	8	34	16	5	14	17	5	20	10	19	0	

### 5.3 Représentativité et constitution des métriques

Dans le cadre de la construction de l'IPR+, les différentes guildes sont testées selon 6 points de vue différents :

- richesse brute (nombre d'espèces de la guildes présente dans l'échantillon) ;
- richesse dite « relative », en appliquant une procédure particulière dite « offset » (cf. ci-après) ;
- densité (nombre d'individus par 100 m<sup>2</sup>) ;
- abondance relative (procédure de type « offset ») ;
- biomasse (en kg/ha) ;

- biomasse relative (procédure de type « offset »).

Selon le point de vue considéré, le nom des métriques observées est construit de 3 morphèmes séparés par des points : (1) l'unité de la métrique (ric : richesse ; abond : abondance ; dens : densité ; biom : biomasse), (2) le code du trait bio-écologique et (3) le code de la modalité de ce trait. Ainsi, la métrique de richesse des individus intolérants à la qualité générale de l'eau est-elle codée "ric.EauGeneral.INTOL" ; le préfixe "ric", codant pour la richesse, "EauGeneral" codant pour le trait de tolérance à la qualité générale de l'eau et le suffixe "INTOL" codant pour la modalité d'intolérance.

Un élément préalable à l'utilisation d'une guilda comme métrique suppose que la guilda soit suffisamment représentative du type de site considéré.

Dans le cas où le nombre d'individus (ou le nombre d'espèces) potentiellement présents (en absence de pression) de la métrique est trop faible, on ne peut pas s'attendre à une réponse significative à une dégradation du milieu, sauf dans le cas où la réponse à la pression se traduit par un accroissement de l'abondance (et/ou de la présence). De plus, la rareté, tant en termes de fréquence que d'absence, va induire une forte incertitude sur l'estimation, du fait de l'erreur d'échantillonnage qui sera très forte sur ces taxons.

Tableau 58 – Valeurs moyennes d'abondance pour les différentes métriques et selon la zonation de Huet et les groupes d'indices de pressions spécifiques.

Métrique	Zone à truite		Zone à ombre		Zone à barbeau		Zone à brème	
	gp1-2	gp4-5	gp1-2	gp4-5	gp1-2	gp4-5	gp1-2	gp4-5
abond.EauGeneral.IM	23.5 %	53.3 %	47.6 %	39.8 %	45.6 %	32.4 %	38.9 %	19.1 %
abond.EauGeneral.INTOL	71.4 %	31.6 %	39.6 %	26.8 %	30.2 %	10.6 %	16.1 %	5.0 %
abond.EauGeneral.TOL	5.0 %	15.0 %	12.8 %	32.7 %	23.3 %	56.5 %	45.0 %	75.5 %
abond.EauO2.O2IM	11.9 %	40.7 %	33.3 %	40.9 %	40.8 %	58.9 %	52.2 %	53.3 %
abond.EauO2.O2INTOL	84.9 %	53.2 %	61.7 %	39.3 %	47.1 %	13.7 %	24.9 %	4.5 %
abond.EauO2.O2TOL	3.0 %	6.1 %	5.0 %	19.1 %	11.3 %	26.9 %	22.9 %	41.7 %
abond.EauTemp.EUTHER	32.1 %	69.2 %	68.9 %	76.5 %	73.8 %	94.6 %	89.9 %	97.4 %
abond.EauTemp.STTHER	67.7 %	30.8 %	31.1 %	22.7 %	25.3 %	4.8 %	10.1 %	2.1 %
abond.Troph.DETR	1.4 %	0.1 %	1.1 %	0.2 %	2.1 %	0.3 %	1.1 %	0.1 %
abond.Troph.HERB	0.1 %	0.1 %	1.4 %	1.9 %	1.6 %	2.0 %	7.9 %	3.8 %
abond.Troph.INSV	37.0 %	54.7 %	58.3 %	42.8 %	55.3 %	36.7 %	33.8 %	31.9 %
abond.Troph.INSV.PISC	55.1 %	22.6 %	16.7 %	15.9 %	9.7 %	7.5 %	11.8 %	11.6 %
abond.Troph.OMNI	6.3 %	22.2 %	22.5 %	38.0 %	29.9 %	51.7 %	43.3 %	50.4 %
abond.Troph.PISC	0.0 %	0.3 %	0.1 %	0.5 %	0.6 %	1.2 %	2.0 %	1.7 %
abond.Troph.PLAN	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.2 %	0.1 %	0.0 %
abond.HabGlob.HIM	23.6 %	53.4 %	48.0 %	41.6 %	46.6 %	33.2 %	32.9 %	19.1 %
abond.HabGlob.HINTOL	71.3 %	31.5 %	39.4 %	26.3 %	29.6 %	11.0 %	23.9 %	8.5 %
abond.HabGlob.HTOL	5.0 %	15.0 %	12.6 %	31.3 %	23.0 %	55.2 %	43.3 %	71.9 %
abond.HabRepro.EUPAR	1.1 %	6.2 %	3.5 %	13.5 %	7.6 %	19.3 %	15.8 %	30.7 %
abond.HabRepro.LIPAR	0.6 %	4.5 %	2.6 %	10.8 %	7.2 %	21.9 %	20.1 %	34.7 %
abond.HabRepro.RHPAR	96.3 %	89.0 %	92.1 %	73.9 %	81.4 %	54.3 %	57.5 %	28.1 %
abond.Hab.EURY	87.5 %	67.8 %	73.9 %	56.6 %	65.1 %	55.6 %	58.4 %	44.2 %
abond.Hab.LIMNO	1.3 %	6.9 %	3.9 %	21.2 %	11.3 %	28.4 %	28.4 %	47.3 %
abond.Hab.RH	11.0 %	25.2 %	22.3 %	21.5 %	22.8 %	15.5 %	13.2 %	8.0 %
abond.HabTroph.B	25.6 %	35.9 %	41.1 %	33.7 %	44.5 %	36.4 %	35.9 %	28.8 %
abond.HabTroph.WC	74.3 %	64.0 %	58.9 %	65.6 %	54.7 %	63.1 %	64.1 %	70.7 %
abond.Migration.POTAD	56.6 %	27.1 %	24.7 %	24.6 %	19.1 %	21.0 %	20.5 %	13.0 %
abond.Migration.RESID	41.0 %	72.6 %	72.4 %	71.8 %	76.9 %	74.4 %	72.8 %	80.5 %
abond.Repro.LITH	93.2 %	77.7 %	82.4 %	63.0 %	71.0 %	41.8 %	45.4 %	23.2 %
abond.Repro.OSTR	0.0 %	0.0 %	0.2 %	0.7 %	0.9 %	1.3 %	6.6 %	3.3 %
abond.Repro.PHLI	4.6 %	19.0 %	14.5 %	31.2 %	22.0 %	47.1 %	35.9 %	59.4 %
abond.Repro.PHYT	0.2 %	3.0 %	1.2 %	2.9 %	2.2 %	5.3 %	5.7 %	7.5 %
abond.ReproB.FR	26.1 %	64.2 %	60.1 %	60.2 %	62.7 %	65.0 %	60.9 %	51.9 %
abond.ReproB.PRO	0.0 %	2.8 %	0.3 %	2.3 %	0.8 %	3.5 %	3.6 %	3.1 %
abond.ReproB.SIN	71.9 %	32.6 %	37.8 %	35.7 %	32.6 %	26.8 %	28.9 %	38.5 %
abond.PC.NOP	84.5 %	93.0 %	82.2 %	86.1 %	79.6 %	84.7 %	79.8 %	80.3 %
abond.PC.PROT	13.6 %	6.7 %	16.1 %	12.2 %	16.6 %	10.8 %	13.6 %	13.1 %
Nombre de sites	373	20	158	45	162	184	54	109

L'expérience antérieure du projet EFI+ a montré qu'une guilda était un bon support à une métrique lorsque son abondance relative sur les sites non perturbés était supérieure à 20 %. Dans le cas des

guildes de taxons tolérants, cette abondance relative, naturellement faible sur les sites non perturbés, doit, au contraire, atteindre des valeurs supérieures à 20 %.

Les valeurs moyennes d'abondance relative ont été calculées pour les guildes candidates par zone de Huet, d'une part sur les sites caractérisés par des pressions faibles (groupes gp1 et gp2 de l'indice synthétique de pressions), et d'autre part sur les sites les plus perturbés (groupes gp4 et gp5) (tableau ci-dessus).

Il apparaît qu'un petit nombre de guildes présente des abondances relatives toujours proches ou inférieures à 5 % (quelque soit le niveau de pression). Elles sont donc à exclure. Ce sont les espèces :

- détritivores (DETR),
- herbivores (HERB),
- piscivores (PISC),
- planctonophages (PLAN),
- à comportement protecteur de la ponte (PRO),
- ostracophiles (OSTR),
- phytophiles (PHYT).

D'autres guildes sont très faiblement abondantes dans des zones particulières : par exemple les espèces à reproduction en milieu limnophile (LIPAR) dans les zones à truite. Elles présentent également des abondances naturellement faibles dans les zones à ombre, mais sont, en revanche, plus nombreuses en cas pressions nettes.

Ces différentes informations devront être prises en compte lors de la sélection finale des métriques.

## 6 Version V.0 de l'indice

Cette version de l'indicateur, élaborée en mai 2011, a pour objet de permettre un premier échange avec les utilisateurs, notamment les DiR, concernant les résultats obtenus. L'ensemble des méthodes et résultats présentés dans cette partie donc être considérés comme provisoires.

### 6.1 Modélisation

#### 6.1.1 Variables environnementales retenues

Les variables à retenir pour modéliser la réponse des métriques candidates à la variabilité de l'environnement en l'absence de perturbations humaines significatives doivent présenter certaines caractéristiques :

- n'être que peu ou pas affectées par les pressions anthropiques locales ;
- pouvoir être clairement interprétées en termes de signification écologique vis-à-vis des peuplements piscicoles ;
- être susceptibles de rendre compte des modifications climatiques (dérive des conditions de « référence ») ;
- pouvoir être obtenues soit par un protocole de mesure sur le terrain ou par des outils SIG ;
- ne présenter que des corrélations assez faibles entre elles (coefficient de corrélation de Pearson inférieur à 0,5).

Sur ce dernier point, et en fonction des expériences antérieures, on peut retenir pour des jeux de données importants des valeurs de coefficient de détermination ( $R^2$ ) inférieures à 0,30. Il convient de toute façon de tester l'importance du facteur d'inflation de la variance (VIF) pour s'assurer de l'absence de fortes colinéarités entre les régresseurs.

Les variables environnementales disponibles appartiennent aux tables STATION, OPERATION et HYDROLOGIE et à leur combinaison dans la « super-table » OPERATION. Dans la mesure où le jeu de données de « calibration » ne contient qu'une seule pêche par station, une seule valeur des variables en provenance de la table OPERATION sera associée à une station.

Tableau 59 – Variables environnementales disponibles dans la « super-table » OPERATION.

Paramètres	Description
REG4_GV	Typologie des régimes hydrologiques (Guigo & Vivian, 1995) (4 groupes)
GEOL1	Grand type de formation géologique dominante sur le bassin versant en amont (2 classes)
DIST_DiR	Distance entre la station (repérée par sa limite aval) et la source du cours d'eau (km)
BV_FINAL	Surface du bassin drainé en amont de la station (km <sup>2</sup> ) (validation SIG)
ALT	Altitude de la station (m)
PENT	Pente actuelle du cours d'eau sur un tronçon encadrant la station (‰)
TMIN_AN	Température moyenne du mois le plus froid (période 1961-1990) (°C)
TMAX_AN	Température moyenne du mois le plus chaud (période 1961-1990) (°C)
LARGLIT	Largeur moyenne du lit mineur (m)
Granulometrie	Granulométrie (3 classes)
LARGEAU	Largeur moyenne en eau de la rivière au moment de la pêche (m)
PROFMOY	Profondeur moyenne de la station lors de la pêche (m)
METHOD	Méthode d'échantillonnage
STRATEG	Stratégie d'échantillonnage
SURF	Surface réellement prospectée (m <sup>2</sup> )
PRECAN	Précipitations normales annuelles sur le BV amont (mm)
MODULE	Débit moyen interannuel (m <sup>3</sup> /s)
LAMEDO_MM	Lame d'eau moyenne écoulee (mm)

#### Description des conditions thermiques

Le climat thermique est décrit par sa moyenne (TMOY) et son amplitude (TAMPL) interannuelles dans la mesure où ces 2 paramètres synthétisent au mieux la variabilité sous la forme de 2 paramètres les plus indépendants possibles.

Ces 2 variables sont obtenues à partir de TMIN\_AN et TMAX\_AN :

$$\begin{aligned} \text{TMOY} &= \text{moyenne de TMAX et TMIN} \\ \text{TAMPL} &= \text{différence entre TMAX et TMIN} \end{aligned}$$

La température de l'air à la verticale de la station est ici considérée comme une bonne approximation de la température de l'eau. Ceci est acceptable lorsque l'on considère des pas de temps supérieurs ou égaux au mois et que l'on peut accepter l'hypothèse d'un équilibre entre les températures de l'air et de l'eau (Pont et al, 2006 ; compléter les références ultérieurement).

De plus, cela suppose que les apports en provenance de nappes alluviales ou de systèmes karstiques ne modifient pas de façon importante la température de l'eau.

### Caractéristiques hydro-morphologiques du cours d'eau

Les variables LARGEAU et PROFMOY, qui donnent une idée précise de la taille du cours d'eau (section), présentent l'inconvénient de ne pas être indépendantes des aménagements effectués sur le tronçon considéré. De plus, LARGEAU est mesuré au moment de l'échantillonnage et est donc sujette à une forte variabilité.

La largeur moyenne du lit mineur (LARGLIT) est plus stable dans le temps et moins sujette à modifications suite à des aménagements se limitant à des modifications mineures de la section. De plus, elle correspond à la section occupée par les flots en condition de débit de plein bord et rend donc relativement bien compte de ce que doit être les conditions hydrologiques en situation de faible perturbation. On peut, en cas de modification du lit lié à un aménagement, réestimer la largeur du lit mineur prévalant avant la modification de la section.

En pratique, on peut considérer qu'une valeur est caractéristique d'une station. Elle est le plus souvent mesurée ou évaluée sur le terrain (topofil, télémètre) ; toutefois, compte tenu du niveau de précision requis, pour les petits cours d'eau de piedmont ou de plaine, cette valeur est généralement assez peu différente (quelques mètres) de la largeur en eau. Pour les plus grands cours d'eau (> 10 m de large), on peut utiliser Photoexplorateur pour visualiser la station et estimer cette largeur.

Les variables LARGEAU et LARGLIT sont très fortement corrélées dans le jeu de « calibration » ( $R = 0,936$  avec les variables exprimées en logarithme népérien). La largeur du lit est, logiquement, quasiment toujours égale ou supérieure à la largeur mouillée (figure ci-dessous).

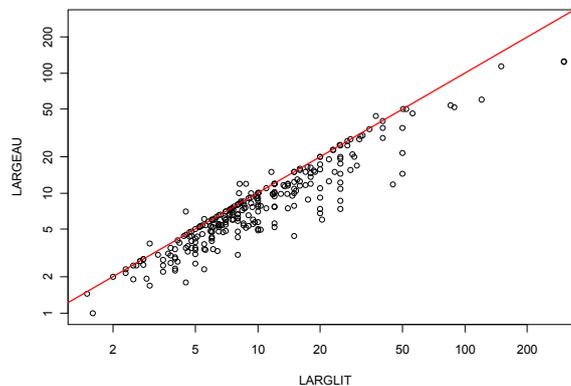


Figure 39 – Relation entre la largeur moyenne en eau et la largeur moyenne du lit mineur pour les sites de calibration (échelle logarithmique ; en rouge : droite d'équation  $y = x$ ).

Cette variable présente donc un grand intérêt. Cependant, en l'état actuel des prises de données sur le terrain, il semble qu'elle soit affectée d'une grande imprécision (avis des ingénieurs des DiR de l'ONEMA). Nous ne l'avons donc finalement pas retenue. Cependant, son utilisation mériterait d'être réexaminée dans le futur s'il apparaît possible d'améliorer son évaluation sur le site. Ce serait en particulier vrai pour les cours d'eau de grande taille.

En remplacement de cette variable, nous avons donc finalement retenu la surface du bassin versant drainé (BV\_FINAL) qui est correctement corrélée à la largeur du lit (LARGLIT) ( $R = 0,803$  avec les variables exprimées en logarithme népérien) dans le jeu de « calibration ».

La distance à la source (DIST\_DiR) est très corrélée à la taille du bassin versant drainé (BV\_FINAL) ( $R = 0,931$  avec les variables exprimées en logarithme népérien) et elle présente l'inconvénient d'être très dépendante de l'échelle du réseau hydrographique utilisée pour l'estimer. Elle n'est pas retenue.

La pente du lit (PENT) est un autre paramètre majeur rendant compte de l'influence de la structure physique du milieu sur les peuplements piscicoles (Huet, 1954 ; Pont *et al.*, 2005). Elle rend compte de façon indirecte de l'hydraulicité du cours d'eau. Elle présente ici l'inconvénient d'être très fortement corrélée avec la taille du bassin versant amont (BV\_FINAL) dans les jeux de « calibration » ( $R = 0,742$  avec les variables exprimées en logarithme népérien), ce qui entraînerait des problèmes sévères de colinéarité dans les modèles.

Nous avons donc recherché une autre variable susceptible de fournir le même type d'information (incluant notamment la pente). Une variable classiquement utilisée en hydrologie est la puissance hydraulique (ou streampower). C'est le taux d'énergie dissipée contre le lit et les bords du cours d'eau exprimé en Watt/m (ou en  $\text{kg.m.s}^{-3}$ ), avec :

$$W = \rho \cdot g \cdot Q \cdot S$$

avec :

- W, la puissance hydraulique,
- $\rho$ , la densité de l'eau ( $1000 \text{ kg/m}^3$ ),
- g, l'accélération due à la gravité ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ),
- Q, le débit ( $\text{m}^3/\text{s}$ ),
- S, la pente du lit (m/km).

Son intensité rend compte des capacités érosives et de transport du cours d'eau. Cette variable peut donc être considérée comme une bonne approche de la rigueur des conditions hydrauliques régnant dans le cours d'eau et à proximité du fond.

Dans notre jeu de données, nous disposons d'une estimation du débit moyen interannuel (MODULE) et de la lame d'eau moyenne écoulee (LAMEDO\_MM). Ils sont obtenus à partir d'une méthode d'interpolation stratifiée des lames d'eau écoulees (mm) mise au point par É. Sauquet (2006). Cette méthode produit une estimation optimisée des écoulements à l'exutoire des zones hydrographiques, c'est-à-dire sur une maille de l'ordre de  $100 \text{ km}^2$ .

L'utilisation de cette donnée présente cependant l'inconvénient de rendre le calcul de l'IPR+ dépendant de cette estimation des débits et peut rendre le calcul de l'indice complexe pour les utilisateurs finaux. Il ne sera également pas possible de considérer de façon simple des modifications de l'état de « référence » (modifications climatiques thermique et de pluviosité). Le débit (MODULE) est par ailleurs assez bien corrélé à la taille du BV (BV\_FINAL) ( $R = 0,748$  avec les variables exprimées en logarithme népérien).

De plus, nous désirons obtenir une évaluation du débit en l'absence de toute modification anthropique majeure sur le BV drainé. Nous avons cherché à remplacer la valeur du module interannuel par un run-off qui fournit la lame d'eau s'écoulant potentiellement au niveau du tronçon de cours d'eau considéré.

La formule classique retenue est de celle de Turc (1954) :

$$R = \text{PRECAN} \times (1 - 1 / [0,9 + (\text{PRECAN}^2 / E^2)]^{0,5})$$

avec :

- R, le run-off annuel moyen (mm/an),
- PRECAN, les précipitations interannuelles moyennes sur le BV amont (mm/an),
- E, l'estimation de l'évaporation potentielle calculée à partir de la température moyenne de l'air :

$$E = 300 + 25 \times \text{TMOY} + 0,05 \times (\text{TMOY})^3$$

avec :

- TMOY la température moyenne interannuelle au niveau de la station ( $^{\circ}\text{C}$  ; comme approximation de la valeur au niveau du BV).

Le débit potentiel Q (m<sup>3</sup>/s) est estimé à partir du run-off par :

$$Q = R \times BV\_FINAL / 31536$$

avec :

- BV\_FINAL, la superficie du BV drainé (km<sup>2</sup>).

La puissance hydraulique POW se déduit alors par :

$$POW = \rho \cdot g \cdot Q \cdot PENT$$

avec :

- PENT, la pente du cours d'eau (‰).

Nous intégrerons donc ce paramètre comme variable explicative du modèle. Elle présente l'intérêt de prendre en compte les précipitations sur le bassin versant et donc de voir sa valeur modifiée en fonction d'une modification du climat.

Le régime hydrologique est décrit par REG4GV. Cependant, cette variable est réduite à 3 modalités par regroupement de reg\_ng et reg\_pn car le nombre de cas reg\_pn est trop faible dans le jeu de « calibration », ce qui pourrait provoquer des biais si cette modalité était conservée telle quelle. Cette nouvelle variable est nommée REG3\_GV et présente les modalités suivantes : reg\_png, reg\_pf et reg\_pm. Le régime hydrologique permet, en complément de la variable précédente, de prendre en compte les grands types de variabilité saisonnière de l'écoulement perceptible à large échelle.

Une limitation de notre approche, tant au niveau de cette variable que de la précédente, est l'absence de considération des modifications de l'écoulement liées aux échanges avec le sous écoulement et/ou les nappes souterraines (karst, nappes alluviales). Malheureusement, ce type de données n'est pas disponible à large échelle actuellement.

L'altitude (ALT) est un paramètre confondant corrélé à la température moyenne (TMOY) (R = 0,623 avec l'altitude exprimée en logarithme népérien) et la pente (PENT) (R = 0,415 avec la pente exprimée en logarithme népérien). Il n'est pas retenu.

La variable de granulométrie est importante mais de nombreuses valeurs sont manquantes dans le jeu de données total. De plus, cette donnée est renseignée de manière variable en fonction des délégations interrégionales (cf. tableau ci-dessous). Nous n'avons donc pas pu la retenir malgré son intérêt.

Tableau 60 – Répartition par DiR des données manquantes de granulométrie au sein des sites de « calibration ».

DiR1	DiR2	DiR3	DiR4	DiR5	DiR6	DiR7	DiR8	DiR9
31	2	18	1	0	0	19	4	11

### Description de l'échantillonnage

L'essentiel des pêches présentes dans le jeu de « calibration » sont des pêches complètes et/ou effectuées à pied. La rareté des autres modalités ne permet pas de proposer ces variables (METHOD et STRATEG) comme paramètres explicatifs dans les modèles.

Tableau 61 – Tableau croisé entre les méthodes et les stratégies d'échantillonnage pour les sites de « calibration ».

	compl	partamb	partautr	partberg	partpoint
Bat	0	7	0	7	13
Mix	0	4	0	0	8
Pied	180	11	1	6	41

La variable surface de pêche (SURF) est utilisée dans le calcul des densités piscicoles (par 100 m<sup>2</sup>). On pourrait également envisager son emploi dans la modélisation des richesses, l'estimation de ces dernières étant fonction de l'effort d'échantillonnage. Cependant, la surface pêchée est dépendante des caractéristiques environnementales et, en particulier, du positionnement sur le gradient amont-

aval. Il s'en suit que son utilisation comme descripteurs dans un modèle risquerait d'avoir un effet confondant avec l'environnement.

**Finalement, 6 variables environnementales sont retenues :**

- **superficie du bassin versant drainé** (BV\_FINAL) ;
- **puissance hydraulique** (POW) ;
- **température moyenne annuelle** (TMOY =  $[TMAX + TMIN] / 2$ ) ;
- **amplitude maximale de la température annuelle** (TAMPL =  $TMAX - TMIN$ ) ;
- **géologie dominante sur le BV amont** (GEOL1 ; 2 classes) ;
- **régime hydrologique** (REG3\_GV ; 3 classes).

Les 4 variables quantitatives (BV\_FINAL, POW, TMOY et TAMPL) sont introduites sous forme simple et sous forme quadratique dans la procédure de stepwise. Parmi elles, 2 (BV\_FINAL et POW) sont préalablement transformées selon une échelle logarithmique (logarithme népérien). Les corrélations entre les variables quantitatives (log-transformées) pour les jeu de « référence » et de « calibration » sont les suivantes :

*Tableau 62 – Matrice de corrélations des variables environnementales retenues pour la modélisation (sites de « référence »). Les variables dont le nom est précédé d'un "L" minuscule sont exprimées en logarithme népérien.*

Variable	IBV_FINAL	IPOW	TMOY	TAMPL
IBV_FINAL	1.000	0.478	0.186	0.072
IPOW	0.478	1.000	-0.271	0.264
TMOY	0.186	-0.271	1.000	-0.039
TAMPL	0.072	0.264	-0.039	1.000

*Tableau 63 – Matrice de corrélations des variables environnementales retenues pour la modélisation (sites de « calibration »). Les variables dont le nom est précédé d'un "L" minuscule sont exprimées en logarithme népérien.*

Variable	IBV_FINAL	IPOW	TMOY	TAMPL
IBV_FINAL	1.000	0.462	0.228	0.135
IPOW	0.462	1.000	-0.191	0.184
TMOY	0.228	-0.191	1.000	0.084
TAMPL	0.135	0.184	0.084	1.000

## 6.1.2 Méthodes de modélisation des métriques

### 6.1.2.1 Modèles linéaires généralisés

Afin de modéliser les métriques, nous utilisons des modèles linéaires généralisés (GLM). Dans un GLM, chaque résultat des variables dépendantes Y, est généré à partir d'une distribution particulière de la famille exponentielle.

La moyenne  $\mu$  de la distribution dépend de variables indépendantes X. Le GLM se décompose en trois éléments : (1) une distribution de probabilité de la famille exponentielle, (2) un prédicteur linéaire  $\eta = X\beta$  et (3) une fonction lien g telle que  $E(Y) = \mu = g^{-1}(\eta)$ . L'estimation des paramètres est basée le maximum de vraisemblance (Nelder & Wedderburn, 1972 ; McCullagh & Nelder, 1989 ; Faraway, 2006).

Pour modéliser les métriques de richesse, nous utilisons une distribution poissonnienne associée ou non avec un paramètre en offset. Dans un GLM, l'offset peut être considéré comme un moyen d'imposer une valeur de référence lorsque l'on compare des populations différentes (McCullagh & Nelder, 1989 ; Cameron & Trivedi, 1998 ; McCulloch & Searle, 2001 ; Hardin & Hilbe, 2007). Dans le cas de la modélisation de la richesse, le paramètre d'offset employé correspond au logarithme népérien de la richesse totale.

Si les métriques sont surdispersées, il est préférable de choisir une distribution binomiale négative. C'est une alternative classique pour contrôler la surdispersion dans une régression faisant intervenir des données de comptage. Pour plus détails sur les propriétés de ces modèles, il convient de se rapporter à McCullagh & Nelder (1989), Venables & Ripley (1999) et Cameron & Trivedi (1998). Concernant la modélisation de l'abondance, de la densité ou de la biomasse, les distributions utilisées dans les GLM sont des distributions binomiales négatives. L'offset a été utilisé pour modéliser l'abondance relative (logarithme népérien de l'effectif total). Dans le cas des biomasses, elles ont été modélisées avec ou sans offset (logarithme népérien de la biomasse totale).

Dans un premier temps, nous nous sommes appuyés sur un modèle commun à toutes les métriques et construit à partir des variables environnementales. À partir de cette base commune, nous avons réalisé une sélection des variables environnementales de manière indépendante pour chacune des métriques. Cette étape a été réalisée pas à pas par la méthode de la stepwise.

Cette approche permet d'explorer la relation qui existe entre les métriques et les conditions environnementales. Dans un contexte d'ordre prédictif, la prise en compte de toutes les variables environnementales dans les modèles peut engendrer un phénomène de sur-ajustement. En outre, la setpwise basée sur l'utilisation du critère d'Akaike (AIC) (1974) permet de donner plus de poids à la valeur prédictive d'un modèle plutôt qu'à sa valeur explicative, ce qui est particulièrement intéressant dans le cas de la construction d'un indice tel que l'IPR+.

### 6.1.2.2 Appréciation de la qualité statistique des modèles

La procédure de sélection de modèles est basée sur celle développée par P. Bady (communication personnelle) dans le cadre du projet EFI+ (Bady *et al.*, 2009).

Le diagnostique des modèles est basé sur l'analyse de la normalité et de la structure des résidus, de l'effet levier (pour détecter les points influents), des relations entre valeurs observées et prédites, de la stabilité de la RMSE obtenue par bootstrap (Davidson & Hinkley, 1997) (ci-dessous).

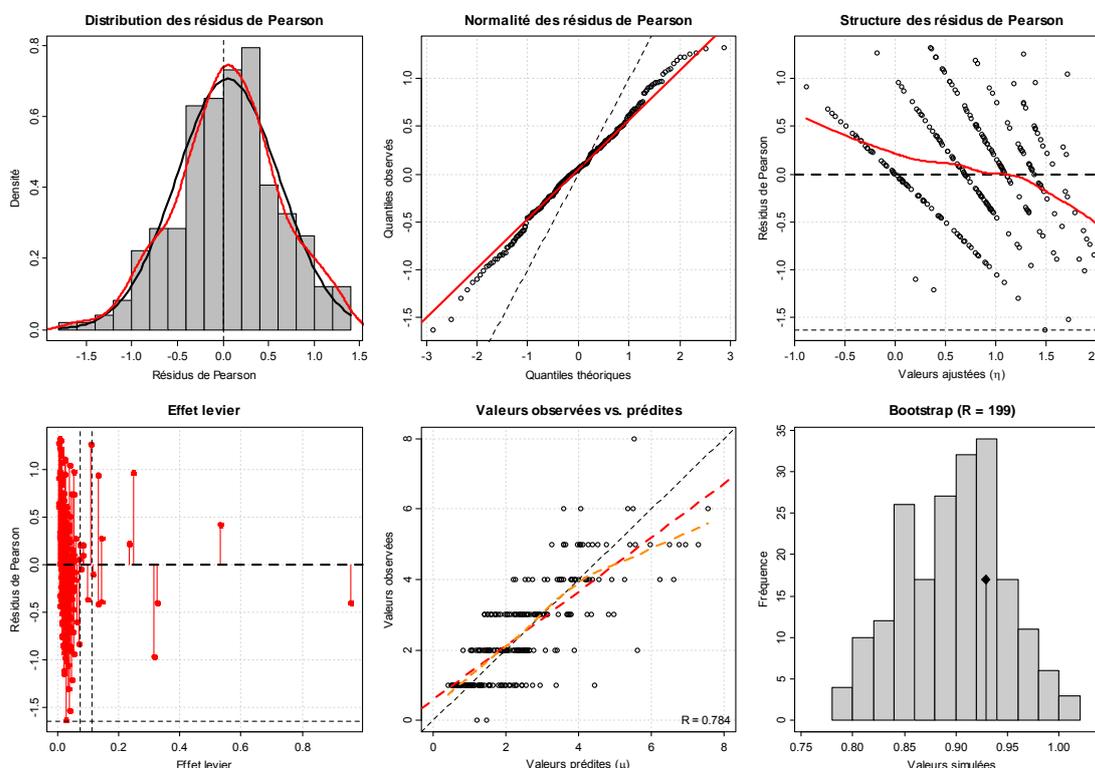


Figure 40 – Exemple de graphes de diagnostique de modèle. (1) Distribution des résidus de Pearson (en rouge : courbe de densité estimée ; en noir : courbe normale théorique). (2) QQ-plot des résidus standardisés contre les quantiles théoriques normaux. (3) Résidus en fonction des valeurs ajustées. (4) Effet levier contre les résidus standardisés. (5) Valeurs observées contre valeurs prédites. (6) Distribution de la RMSE.

## 6.1.3 Modèles obtenus

### 6.1.3.1 Description sommaire

Les différents modèles obtenus ne seront pas présentés en détail en raison de leur nombre important.

Le nombre total de métriques candidates est de 228. Selon le jeu de « calibration » considéré, un certain nombre de métriques n'ont pas pu être modélisées, les données ne permettant pas d'aboutir à un ajustement stable. Ainsi, sur ce nombre, 217 métriques ont pu être modélisées.

**Les modèles obtenus à l'aide du jeu de données sur critères « différenciés » (sites de « calibration ») seront dénommés modèles A.**

**Les modèles obtenus à l'aide du jeu de données sur critères « homogènes » (sites de « référence ») seront dénommés modèles B.**

Parmi l'ensemble des critères statistiques permettant d'évaluer la qualité des modèles, la part de variance expliquée varie entre 0,00091 et 0,96092 pour une moyenne de 0,38807 (modèles A) et entre 0,00570 et 0,95800 pour une moyenne de 0,41340 (modèles B).

Comme spécifié précédemment, l'un des critères de sélection des métriques sera basé sur la qualité des modèles. Parmi ces critères, nous retiendrons une part de variance expliquée supérieure à 0,30, voir 0,50 autant que possible.

Concernant les modèles A, parmi les variables explicatives, la surface du bassin est la plus souvent retenue (88 %), suivie de la température moyenne (78 %), l'amplitude thermique (61 %), le régime hydrologique (54 %), la puissance hydraulique (47 %) et la géologie (21 %).

Le nom des résidus standardisés est construit de 5 morphèmes séparés par des points : (1) un "I" permettant de repérer facilement qu'il s'agit d'une métrique modélisée, (2) l'unité de la métrique (ric : richesse ; abond : abondance ; dens : densité ; biom : biomasse), (3) l'expression (brute : unité non modifiée ; offset : unité relative), (4) le code du trait bio-écologique et (5) le code de la modalité de ce trait. Ainsi, la métrique modélisée avec offset de la richesse des individus intolérants à la qualité générale de l'eau est-elle codée "I.ric.offset.EauGeneral.INTOL".

### 6.1.3.2 Réponses des résidus à l'environnement

L'une des conditions importantes pour évaluer l'efficacité d'un modèle, pour l'usage qu'on se propose d'en faire, est que les résidus (exprimés comme la différence entre les valeurs prédites et observées) calculés sur les sites de « calibration » soient indépendants des conditions environnementales. Cela permettra de toujours obtenir la même valeur de la métrique en l'absence de perturbation, quelle que soit la situation environnementale considérée.

Les résidus sont calculés comme suit :

$$\ln(\text{valeur observée} + 1) - \ln(\text{valeur prédite} + 1)$$

Ces résidus sont ensuite centrés-réduits.

#### Effet de la zonation

Une manière synthétique d'examiner globalement l'indépendance de ces résidus vis-à-vis d'effets résiduels de l'environnement est de regarder leur variabilité selon les différentes zones de Huet (truite, ombre, barbeau, brème).

La figure ci-après donne un exemple pour 3 métriques différentes. Les distributions des valeurs brutes des métriques (avant modélisation) sont fournies dans la colonne de gauche, puis au centre les résidus obtenus avec les modèles A, et à droite avec les modèles B.

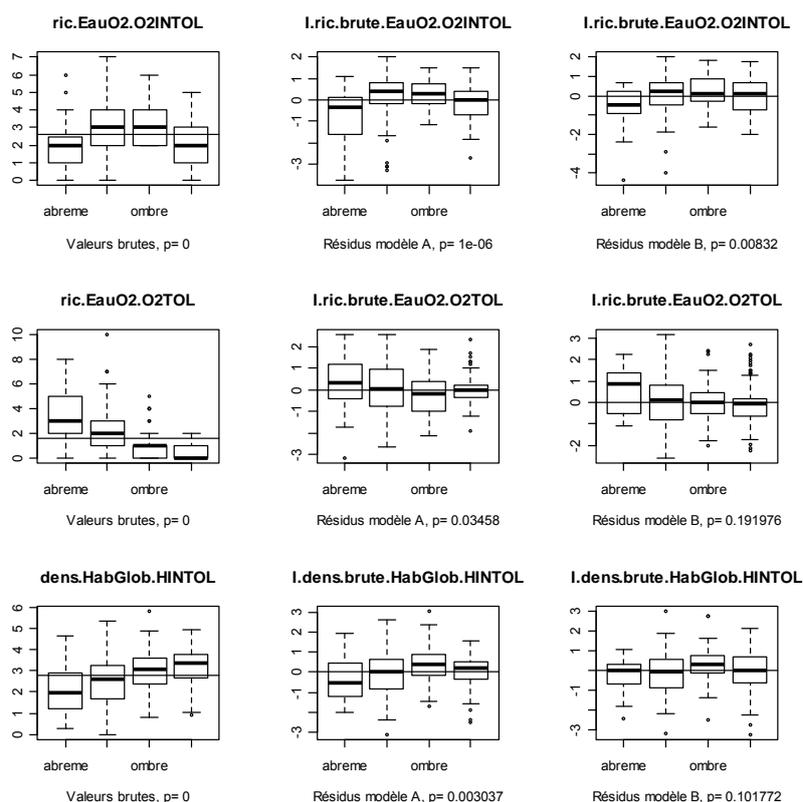


Figure 41 – Distributions (boîtes à moustaches) des valeurs de 3 métriques exprimées en valeurs brutes et en résidus des modèles A et B. En abscisse, la p-value associée à un test de différence de moyenne (ANOVA) est fournie. Les noms de zones sont de gauche à droite : brème, barbeau, ombre, truite.

Ces 3 exemples illustrent bien les réponses observées. La modélisation des métriques et l'élimination de la part de variance expliquée par les descripteurs environnementaux rend les valeurs de résidus beaucoup plus comparables entre les zones, en particulier dans le cas des modèles B. Dans de nombreux cas, il ne subsiste pas d'effet significatif.

Cependant, il existe à une majorité d'exception, ce qui signifie qu'il reste une part de variabilité environnementale considérée comme « naturelle » qui n'est pas éliminée. Ceci peut être interprété comme l'existence d'autres facteurs environnementaux non pris en compte et dont est perceptible à large échelle (l'échelle de la zonation).

Il est important de noter que les difficultés de standardisation interviennent essentiellement pour la zone à brème, alors que les modèles corrigent bien les effets environnementaux sur les autres zones (dont truite et ombre), comme en atteste la valeur moyenne des résidus toujours très proche de 0 sur ces zones. Ce résultat peut être, en partie, lié à la sous-représentation des sites les plus aval dans les modèles. Mais ce peut être aussi en rapport avec l'action de paramètres spécifiques des zones aval non considérées ici (présence d'une plaine alluviale, etc.).

Logiquement, ce problème est encore plus accentué lorsque l'on regarde les résultats obtenus avec les modèles A. En acceptant un niveau de pression plus élevé dans les zones aval, on y introduit des sites altérés, qui présentent, dès lors, des résidus plus faibles qu'attendus. L'exemple de la métrique "I.dens.brute.HabGlob.HINTOL" est parlant.

### Effet de la stratégie d'effet d'échantillonnage

Par ailleurs, on peut également constater un effet de la stratégie d'échantillonnage (variable STRATEG). Cet effet est mis en évidence après avoir simplifié cette variable en deux modalités : pêche complète ou pêche partielle (regroupant les différentes modalités de pêche partielle).

Un exemple est fourni dans la figure ci-dessous. On peut voir que les résidus sont plus faibles dans la zone à brème et que, de plus, cet effet est accentué dans le cas de pêches partielles. On observe également des différences entre les 2 stratégies de pêche dans le cas la zone à truite.

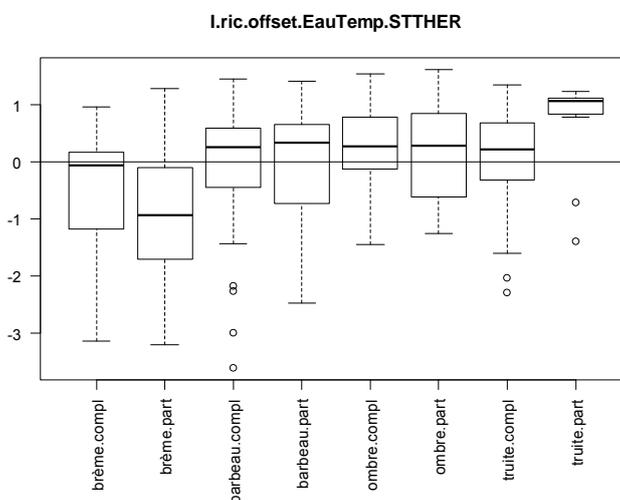


Figure 42 – Distribution des valeurs des résidus de la métrique "I.ric.offset.EauTemp.STTHER" selon les zones de Huet et la stratégie de pêche.

On peut noter que l'importance de la stratégie d'échantillonnage est variable selon les métriques candidates. Pour un grand nombre, l'effet zonation est très prépondérant.

#### Effet de l'appartenance à un bassin

Les bassins testés ici sont ceux définis lors de la construction de l'IPR (Oberdorff *et al.*, 2002) : les 4 grands bassins (Loire, Garonne, Rhône, Seine) et 4 regroupements de bassins côtiers : Méditerranéen, Atlantique, Manche et Nord (côtiers Nord et Rhin-Meuse). La Corse est ajoutée à cette liste.

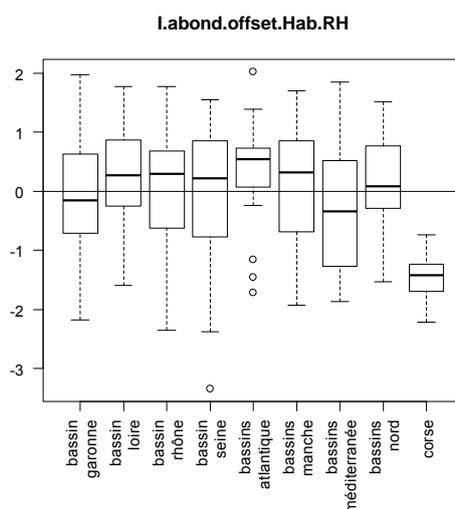


Figure 43 – Distribution des valeurs des résidus de la métrique "I.abond.offset.Hab.RH" selon les 8 bassins hydrographiques et la Corse.

L'examen montre que les réponses des résidus au bassin ne dessinent pas de tendance générale. Et les écarts, bien qu'assez souvent significatifs, sont acceptables en première approche. Une exception

notable est cependant le cas de la Corse qui s'éloigne très clairement des autres sites de « calibration » (cf. ex. de la figure ci-dessus).

### 6.1.3.3 Redressement des résidus

En conclusion, il paraît nécessaire d'effectuer un redressement des résidus de tous les sites (perturbés et non perturbés) en les centrant par zone et par stratégie d'échantillonnage, afin que la valeur moyenne des sites de « calibration » par zone et par stratégie soit toujours égale à 0. Une correction supplémentaire est à effectuer pour la Corse.

Cette correction est faite en soustrayant de toutes les valeurs des résidus, la valeur de la moyenne de la modalité « zone-stratégie » ou de celles correspondant au bassin corse.

La correction est d'abord effectuée sur le bassin corse puis sur les couples de modalités « zone-stratégie ».

Dans le cas de l'utilisation du jeu de données sur critères « différenciés » (modèles A), la distribution des sites entre les croisements de modalités permet de faire cette correction, les effectifs par groupe variant entre 11 et 72.

Dans le cas du jeu de données et des modèles basés sur des critères « homogènes » (modèles B), la distribution des sites entre les croisements de modalités est plus ample (2 à 120).

Tableau 64 – Nombre de sites par croisement des modalités « zone par stratégie » dans le jeu de « calibration ».

Stratégie	Brème	Barbeau	Ombre	Truite
compl	11	51	46	72
part	24	42	19	13

Tableau 65 – Nombre de sites par croisement des modalités « zone par stratégie » dans le jeu de « référence ».

Stratégie	Brème	Barbeau	Ombre	Truite
compl	2	31	30	120
part	11	27	18	20

## 6.2 Sélection des métriques

La procédure de sélection est réalisée sur le jeu de sites de « calibration ».

L'ensemble des métriques est testé, hormis celles dont la représentativité est trop faible (cf. précédemment). On conserve ainsi 172 métriques.

### 6.2.1 Réponses à l'indicateur synthétique de pressions général

On s'intéresse ici à l'indicateur de pression général, c'est-à-dire prenant en compte la totalité des sites.

Les réponses sont examinées pour l'ensemble des sites, mais également par zone de Huet.

Les données utilisées se répartissent comme suit, en fonction de la zone et du niveau de pressions (gp1 à gp4). Le groupe de pressions gp4 regroupe ici les groupes initiaux 4 et 5 afin de disposer d'un nombre suffisant de sites par combinaison de modalités.

Tableau 66 – Répartition des sites par groupe de pressions et par zone de Huet.

Zone	gp1	gp2	gp3	gp4
Brème	12	42	44	109
Barbeau	54	108	148	184
Ombre	61	97	74	45
Truite	233	140	63	20

La significativité des réponses des 172 métriques est testée systématiquement pour l'ensemble des sites et pour les différentes zones. Cette démarche permet de distinguer :

- les métriques répondant significativement dans toutes les zones,
- les métriques répondant significativement pour une des 4 zones considérées.

Afin d'identifier, pour ces différents cas, les métriques présentant l'intensité de réponse la plus forte, on distingue parmi les cas significatifs (Ofenböck *et al.*, 2004), les métriques pour lesquelles :

- le quartile inférieur des réponses des métriques obtenues en « l'absence » de pression (groupe gp1) est supérieur au quartile supérieur des réponses au groupe 4, en cas de réponse décroissante de la métrique à la pression ;
- le quartile supérieur des réponses des métriques obtenues en « l'absence » de pression (groupe gp1) est inférieur au quartile inférieur des réponses au groupe 4, en cas de réponse croissante de la métrique à la pression.

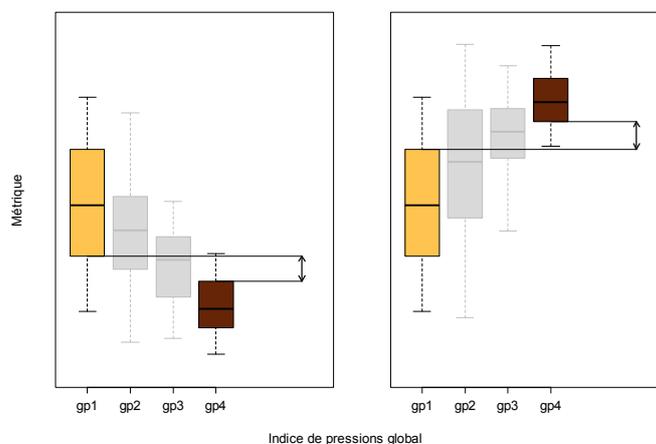


Figure 44 – Métriques présentant des intensités de réponse élevées (absence de chevauchement des interquartiles. Cas des réponses décroissantes (à gauche) et croissantes (à droite).

Dans ce cas, le chevauchement entre les distributions de sites non perturbés et perturbés ne concernera que 25 % de chacune des 2 distributions.

Ces derniers tests ne sont effectués qu'à condition d'avoir un nombre de sites supérieur à 10 dans les groupes gp1 et gp4.

### 6.2.1.1 Réponses significatives sur l'ensemble des zones

Au total, 20 métriques présentent des réponses significatives à l'indice de pressions général pour l'ensemble des sites et chacune des 4 zones (cf. tableau ci-dessous).

Tableau 67 – Niveau de significativité des réponses à l'indice de pressions général pour l'ensemble des sites et par zone.

Métriques	Tous zones	Truite	Ombre	Barbeau	Brème
I.ric.brute.EauGeneral.INTOL	< 10-4	< 10-4	0.003	< 10-4	0.002
I.ric.brute.EauO2.O2INTOL	< 10-4	0.017	0.007	< 10-4	0.001
I.ric.brute.EauTemp.STTHER	< 10-4	< 10-4	0.032	< 10-4	0.004
I.ric.brute.HabGlob.HINTOL	< 10-4	< 10-4	0.049	< 10-4	0.003
I.ric.offset.EauGeneral.INTOL	< 10-4	< 10-4	< 10-4	< 10-4	0.001
I.ric.offset.EauO2.O2INTOL	< 10-4	< 10-4	0.001	< 10-4	0.001
I.ric.offset.EauTemp.STTHER	< 10-4	< 10-4	0.009	< 10-4	0.002
I.ric.offset.HabGlob.HINTOL	< 10-4	< 10-4	0.001	< 10-4	< 10-4
I.ric.offset.HabRepro.RHPAR	< 10-4	0.026	< 10-4	< 10-4	0.007
I.ric.offset.Repro.LITH	< 10-4	< 10-4	< 10-4	< 10-4	0.010
I.abond.offset.EauGeneral.IM	< 10-4	0.003	0.011	0.015	< 10-4
I.abond.offset.EauGeneral.INTOL	< 10-4	< 10-4	< 10-4	< 10-4	< 10-4
I.abond.offset.EauO2.O2IM	0.001	< 10-4	0.01	0.003	0.003

I.abond.offset.EauO2.O2INTOL	< 10-4	< 10-4	< 10-4	< 10-4	< 10-4
I.abond.offset.EauTemp.STTHER	< 10-4	< 10-4	0.003	< 10-4	0.001
I.abond.offset.HabGlob.HIM	< 10-4	0.002	0.006	0.034	0.009
I.abond.offset.HabGlob.HINTOL	< 10-4	< 10-4	< 10-4	< 10-4	0.000
I.abond.offset.Repro.LITH	< 10-4	0.022	< 10-4	< 10-4	0.018
I.dens.brute.HabRepro.EUPAR	< 10-4	0.025	< 10-4	0.001	0.024
I.dens.brute.Hab.RH	< 10-4	0.001	0.007	< 10-4	0.011

Parmi ces métriques, certaines présentent des réponses négatives aux perturbations, et d'autres positives. Cependant les tendances de réponses ne sont pas forcément les mêmes selon les zones. Quelques exemples sont présentés ci-après, à titre de démonstration.

Le premier cas concerne la richesse en espèces oxygène-intolérantes (figure ci-dessous).

On observe une tendance décroissante commune sur les 4 zones, avec cependant une intensité moins forte dans la zone à ombre.

Il est intéressant de noter que, lorsque que l'on va de la zone à truite vers la zone à brème, la distribution des sites du groupe de pressions gp1 (non perturbés) s'éloigne de plus en plus de la distribution des sites de « référence ». Ceci est directement lié à la sélection des sites de « calibration » selon des critères différenciés par zone. En conséquence, dans la zone à brème, les sites de « calibration » — qui présentent pour une large partie, un niveau de pression moyen — ont des valeurs inférieures aux sites les moins perturbés (gp1). Il faut cependant noter que ces derniers sont en faible nombre (n = 12).

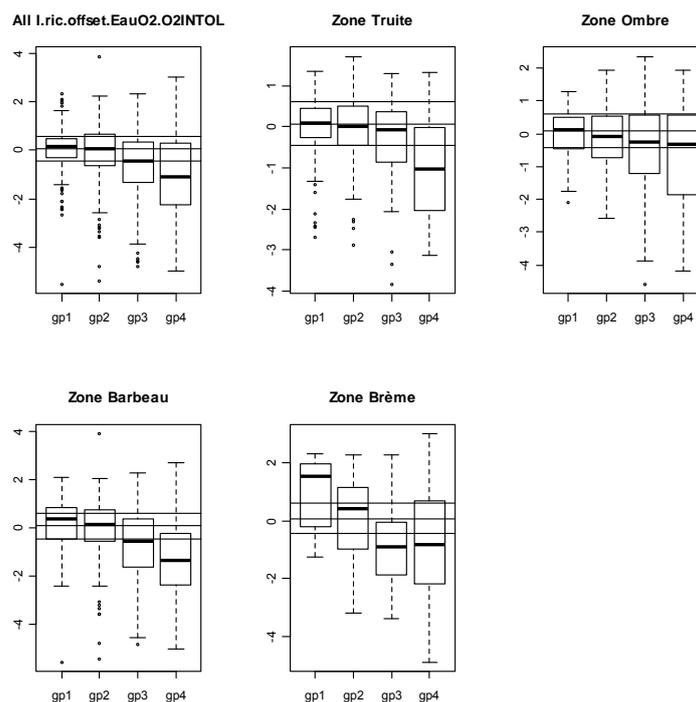


Figure 45 – Réponse de la richesse en espèces oxyphiles pour l'ensemble des sites et selon les zones au gradient synthétique de pressions. Les 3 lignes horizontales représentent le quartile supérieur, la médiane et le quartile inférieur de la distribution des sites de « calibration ».

Le deuxième cas concerne les densités d'espèces rhéophiles (figure ci-dessous). On voit clairement que les tendances des réponses s'inversent lorsque l'on passe de la zone à truite à la zone à brème : de positive à négative. Ceci entraîne une réponse atténuée lorsque toutes les zones sont considérées simultanément.

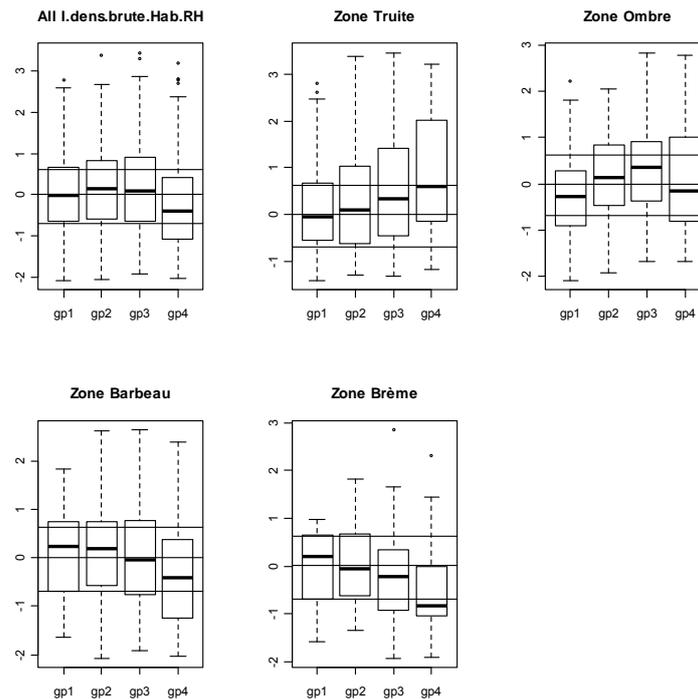


Figure 46 – Réponse de la densité en espèces rhéophiles pour l'ensemble des sites et selon les zones au gradient synthétique de pressions. Les 3 lignes horizontales représentent le quartile supérieur, la médiane et le quartile inférieur de la distribution des sites de « calibration ».

Ce résultat, *a priori* surprenant, a du sens au niveau écologique. Dans les zones à truite à faible richesse, les perturbations se traduisent souvent par un accroissement de la richesse et des densités. La guildes des espèces rhéophiles se compose de taxons ayant des degrés d'oxyphilie variés et donc susceptibles, pour nombre d'entre eux, de voir leur compétitivité augmenter en cas d'eutrophisation modérée. Il s'ensuit qu'en l'absence d'une réduction drastique de courant (*e.g.* présence d'un seuil), cette guildes gagnera en abondance face à une altération de la qualité de l'eau, par exemple.

À l'inverse, dans la zone à brème, le critère d'oxyphilie est moins sélectif. La plupart des aménagements tendent à réduire la vitesse d'écoulement et/ou à supprimer des milieux périfluviaux, ce qui entraîne une réduction de l'abondance des rhéophiles. Une exception à ce schéma est représentée par les cas de la chenalisation de grands cours d'eau de type alpin avec une accélération de l'écoulement : celle-ci peut potentiellement accroître leur abondance.

Il est intéressant de noter que la zone présentant la réponse la moins intense est la zone à ombre.

### 6.2.1.2 Réponses sans chevauchement des interquartiles entre gp1 et gp4

On peut, à présent, discriminer, parmi ces 20 métriques, celles présentant les réponses les plus intenses par l'examen des écarts entre sites peu/non perturbés (gp1) et très perturbés (gp4).

Si l'on considère l'ensemble des sites, aucune métrique ne présente aucun chevauchement entre les interquartiles des groupes gp1 et gp4.

Si l'on ne considère que la zone à truite, 2 métriques ne présentent aucun chevauchement entre les interquartiles de gp1 et gp4 :

- "I.abond.offset.EauGeneral.INTOL",
- "I.abond.offset.HabGlob.HINTOL",
- "I.dens.brute.HabRepro.EUPAR".

Si l'on ne considère que la zone à ombre, aucune métrique ne présente aucun chevauchement entre les interquartiles de gp1 et gp4.

Si l'on ne considère que la zone à barbeau, 3 métriques ne présentent aucun chevauchement entre les interquartiles de gp1 et gp4 :

- "l.abond.offset.EauO2.O2INTOL",
- "l.abond.offset.EauTemp.STTHER",
- "l.ric.offset.EauTemp.STTHER".

Si l'on ne considère que la zone à brème, 4 métriques ne présentent pas de chevauchement entre la médiane de gp1 et le quartile inférieur ou supérieur de gp4 :

- "l.abond.offset.EauGeneral.INTOL",
- "l.abond.offset.EauO2.O2INTOL",
- "l.abond.offset.EauTemp.STTHER",
- "l.abond.offset.HabGlob.HINTOL".

Il ne subsiste donc aucune métrique présentant une réponse de forte intensité à l'indice de pressions général dans chacune des 4 zones prises individuellement.

Ce faible nombre de métriques sensibles sur l'ensemble du réseau et leur identité corrobore les résultats obtenus dans le programme européen EFI+, où seul un faible nombre de métriques avait également été retenues, et ce, malgré l'examen des réponses en distinguant deux types de cours d'eau: la zone à salmonidé et la zone à cyprinidé.

Il convient donc, à présent, de rechercher des métriques présentant de fortes sensibilités aux pressions pour chacune des 4 zones de Huet en analysant les réponses aux différents indices de pressions spécifiques établis pour chacune des zones.

De plus, ces premiers résultats montrent que les réponses d'une même métrique varient selon les pressions et dans certains cas, peuvent s'avérer opposées. Il est donc nécessaire, en parallèle à l'examen des réponses à l'indice de pressions général, de s'intéresser aux réponses aux pressions prises une à une.

## 6.2.2 Réponses significatives par zone et par pression

Dans les examens suivants, seules les métriques présentant des réponses de forte intensité sont sélectionnées (absence de chevauchement entre les interquartiles du groupe de sites caractérisés par une valeur nulle de la pression considérée et du groupe correspondant à l'intensité la plus forte de cette pression). Le nombre minimum de sites dans les deux groupes doit être respectivement de 5 et de 10.

### 6.2.2.1 Zone à truite

Tableau 68 – Réponses des métriques pour la zone à truite. Les valeurs indiquent, en cas de réponse, la valeur absolue de l'écart entre les deux interquartiles (groupe sans pression et à pression maximale).

Métrique	DivEtang	HydroEclus	HydroPrelev	MorphoRipisyl	MorphoTransSolid	PollAcid	PollOrga	PresclaTRF
l.abond.offset.EauGeneral.INTOL	-	-	-	-	-	-	-	-0.245
l.abond.offset.EauO2.O2INTOL	-	0.031	-	-	-	-	-	-
l.abond.offset.EauTemp.STTHER	-	-	-	-	-	-	-	-0.047
l.abond.offset.HabGlob.HINTOL	-	-	-	-	-	-	-	-0.322
l.abond.offset.HabRepro.EUPAR	-	-0.296	-	-	-	-	-	-
l.abond.offset.Migration.POTAD	-	-	-	-0.398	-	-	-	-
l.abond.offset.Repro.LITH	-	0.080	-	-	-	-	-	-
l.abond.offset.Repro.PHLI	-	-	-	-	-	-	0.028	-
l.abond.offset.ReproB.FR	-	-	-	-	-	-	-	0.330
l.abond.offset.ReproB.SIN	-	-	-	-	-	-	-	-0.696
l.abond.offset.Troph.INSV.PISC	-	-	-	-	-	-	-	-0.102
l.biom.brute.Migration.RESID	-	-	-	-	-	0.019	-	-

I.dens.brute.EauO2.O2IM	-	-	-	-	-	-	0.161
I.dens.brute.Repro.PHLI	-	-	-	-	-	0.073	-
I.dens.brute.ReproB.FR	-	-	-	-	-	-	0.130
I.dens.brute.Troph.OMNI	-	-	-	-	-	0.116	-
I.ric.brute.EauGeneral.TOL	0.246	-	-	-	-	0.375	-
I.ric.brute.EauO2.O2IM	-	-	-	-	-	0.047	-
I.ric.brute.EauO2.O2TOL	-	-	-	-	-	0.297	-
I.ric.brute.EauTemp.EUTHER	0.068	-	-	-	-	-	-
I.ric.brute.Hab.LIMNO	0.003	-	-	-	-	0.157	-
I.ric.brute.HabGlob.HTOL	0.314	-	-	-	-	0.310	-
I.ric.brute.HabRepro.EUPAR	-	-	-	-	-	0.009	-
I.ric.brute.Repro.PHLI	0.192	-	-	-	-	-	-
I.ric.brute.Troph.OMNI	-	-	-	-	-	0.222	-
I.ric.offset.EauGeneral.INTOL	-0.274	-	-	-	-	-	-0.303
I.ric.offset.EauGeneral.TOL	0.174	-	-	-	-	-	-
I.ric.offset.EauO2.O2IM	-	-	0.011	-	-	-	-
I.ric.offset.EauO2.O2INTOL	-	-	-	-	-	-0.125	-
I.ric.offset.Hab.LIMNO	-	-	-	-	-	0.127	-
I.ric.offset.HabGlob.HINTOL	-0.017	-	-	-	-	-	-0.031
I.ric.offset.HabGlob.HTOL	0.244	-	-	-	-	-	-
I.ric.offset.HabRepro.RHPAR	-	-	-	-	-0.067	-	-
I.ric.offset.Repro.PHLI	0.265	-	-	-	-	-	-

De nombreuses métriques sont sensibles à la présence d'un étang ainsi qu'à la pollution organique. Un nombre de réponses plus limitées concernent des altérations hydrologiques et morphologiques. On observe également des réponses à l'indice de pressions général spécifique à la zone à truite (PresclaTRF).

#### 6.2.2.2 Zone à ombre

Tableau 69 – Réponses des métriques pour la zone à ombre. Les valeurs indiquent, en cas de réponse, la valeur absolue de l'écart entre les deux interquartiles (groupe sans pression et à pression maximale).

Métrique	MOOX	MorphoColmat	MorphoFaciesRete	PollNutr	PollTox	PresclaOBR
I.abond.offset.EauGeneral.INTOL	-0.242	-	-	-	-	-
I.abond.offset.EauO2.O2IM	-	-	-	0.067	-	-
I.abond.offset.HabGlob.HINTOL	-0.161	-	-	-	-	-
I.abond.offset.HabTroph.B	-	-	-0.037	-	-	-
I.abond.offset.Repro.PHLI	-	-	-	0.052	-	-
I.abond.offset.Troph.INSV.PISC	-	-	-	-0.004	-	-
I.biom.brute.Hab.RH	-	-	-	0.136	-	-
I.biom.offset.Hab.RH	-	-	-	0.202	-	-
I.dens.brute.EauGeneral.INTOL	-1.040	-	-	-	-	-
I.dens.brute.EauGeneral.TOL	-	-	-	0.815	-	-
I.dens.brute.EauO2.O2IM	-	-	-	0.875	-	-
I.dens.brute.EauTemp.EUTHER	-	-	-	0.116	-	-
I.dens.brute.EauTemp.STTHER	-0.367	-	-	-	-	-
I.dens.brute.Hab.RH	-	-	-	0.393	-	-
I.dens.brute.HabGlob.HINTOL	-1.159	-	-	-	-	-
I.dens.brute.HabGlob.HTOL	-	-	-	0.821	-	-
I.dens.brute.HabTroph.B	-	-	-	0.711	-	-
I.dens.brute.PC.NOP	-	-	-	0.458	-	-
I.dens.brute.Repro.PHLI	-	-	-	0.989	-	-
I.dens.brute.Troph.OMNI	-	-	-	0.757	-	-
I.ric.brute.EauGeneral.INTOL	-0.685	-	-	-	-	-
I.ric.brute.EauO2.O2IM	-	-	-	0.362	-	-
I.ric.brute.EauO2.O2INTOL	-0.608	-	-	-	-	-
I.ric.brute.EauTemp.STTHER	-0.289	-	-	-	-	-
I.ric.brute.HabGlob.HINTOL	-0.198	-	-	-	-	-

I.ric.brute.HabRepro.RHPAR	-0.025	-	-	-	-	-
I.ric.brute.Troph.OMNI	-	-	-	0.168	-	-
I.ric.offset.EauGeneral.INTOL	-0.669	-	-	-	-	-
I.ric.offset.EauO2.O2INTOL	-0.134	-	-	-	-0.032	-
I.ric.offset.EauTemp.EUTHER	0.138	-	-	-	-	-
I.ric.offset.EauTemp.STTHER	-0.276	-	-	-	-	-
I.ric.offset.Hab.EURY	-	-	-	-0.500	-	-
I.ric.offset.Hab.LIMNO	0.009	-	-	-	-	-
I.ric.offset.Migration.RESID	-	0.004	-	-	-	-
I.ric.offset.Repro.LITH	-	-0.061	-	-	-	-
I.ric.offset.Repro.PHLI	-	-	-	0.128	-	-
I.ric.offset.Troph.OMNI	-	-	-	0.627	-	-

La sensibilité à la qualité de l'eau (MOOX, pollution par les nutriments) est le phénomène dominant dans cette zone. Quelques métriques sont également sensibles à la présence d'un seuil (effet retenue) et au colmatage. Il faut noter qu'il n'y a pas de réponse directe à l'indice de pressions spécifique à la zone (PresclaOBR).

### 6.2.2.3 Zone à barbeau

Tableau 70 – Réponses des métriques pour la zone à barbeau. Les valeurs indiquent, en cas de réponse, la valeur absolue de l'écart entre les deux interquartiles (groupe sans pression et à pression maximale).

Métrique	HydroModifie	MorphoFaciesRete	PresclaBAF
I.abond.offset.EauGeneral.INTOL	-	-	-
I.abond.offset.EauO2.O2INTOL	-	-	-
I.abond.offset.EauTemp.STTHER	-0.003	-	-
I.abond.offset.HabRepro.RHPAR	-	-0.150	-0.061
I.dens.brute.EauGeneral.INTOL	-	-	-
I.dens.brute.EauO2.O2INTOL	-	-	-
I.dens.brute.EauTemp.STTHER	-	-	-
I.dens.brute.HabGlob.HINTOL	-	-	-
I.dens.brute.HabRepro.LIPAR	-	-	0.182
I.dens.brute.HabRepro.RHPAR	-	-	-
I.ric.brute.EauGeneral.INTOL	-	-0.003	-
I.ric.brute.EauO2.O2INTOL	-	-	-
I.ric.brute.EauTemp.STTHER	-	-	-
I.ric.brute.Hab.RH	-	-0.071	-
I.ric.brute.HabRepro.RHPAR	-	-0.017	-
I.ric.brute.Repro.LITH	-	-0.033	-
I.ric.offset.EauGeneral.INTOL	-	-	-0.061
I.ric.offset.EauO2.O2INTOL	-	-	-0.171
I.ric.offset.EauTemp.STTHER	-	-	-0.007
I.ric.offset.Hab.RH	-	-	-0.242
I.ric.offset.HabRepro.LIPAR	-	-	0.012
I.ric.offset.HabRepro.RHPAR	-	-	-0.580
I.ric.offset.Repro.LITH	-	-	-0.566

Le nombre de métriques sélectionnées est plus restreint. Les réponses couvrent la présence de retenue (seuil) et la modification du débit. On note également des réponses à l'indice de pressions spécifique à la zone (PresclaBAF).

#### 6.2.2.4 Zone à brème

Tableau 71 – Réponses des métriques pour la zone à brème. Les valeurs indiquent, en cas de réponse, la valeur absolue de l'écart entre les deux interquartiles (groupe sans pression et à pression maximale).

Métrique	DivEtang	DivNavig	HydroModifie	MOOX	MorphoBerge	PollEutroph	PollNutr	PollOrga	PresclàBRE
l.abond.offset.EauGeneral.INTOL	-	-	-	-1.036	-	-	-1.567	-	-0.742
l.abond.offset.EauGeneral.TOL	0.197	-	-	0.052	-	-	-	-	0.022
l.abond.offset.EauO2.O2INTOL	-	-	-0.153	-0.746	-	-	-1.395	-	-0.933
l.abond.offset.EauTemp.STTHER	-	-	-0.115	-0.301	-	-	-0.776	-	-0.828
l.abond.offset.Hab.EURY	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.007
l.abond.offset.Hab.RH	-	-	-	-	-	-	-	-	-
l.abond.offset.HabGlob.HINTOL	-0.222	-	-	-1.065	-	-	-	-	-0.587
l.abond.offset.HabGlob.HTOL	0.200	-	-	0.026	-	-	-	-	0.012
l.abond.offset.HabRepro.EUPAR	0.540	-	-	-	-	-	-	-	0.345
l.abond.offset.HabRepro.LIPAR	0.166	-	-	-	-	-	-	-	-
l.abond.offset.HabRepro.RHPAR	-	-	-	-0.061	-	-	-0.447	-	-0.114
l.abond.offset.Repro.LITH	-	-	-	-	-	-	-	-	-
l.biom.brute.HabTroph.B	-	-	-	-	-	-	-	-	0.183
l.biom.offset.EauO2.O2INTOL	-	-	-	-	-	-	-0.388	-	-
l.dens.brute.EauGeneral.INTOL	-	-	-	-0.279	-	-	-0.273	-	-0.464
l.dens.brute.EauGeneral.TOL	0.024	-0.295	-	-	-	-	-	-	-
l.dens.brute.EauO2.O2INTOL	-	-	-	-0.036	-	-	-0.487	-	-0.098
l.dens.brute.EauTemp.STTHER	-	-	-	-0.043	-	-0.100	-0.323	-	-0.476
l.dens.brute.Hab.EURY	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.013
l.dens.brute.Hab.LIMNO	0.203	-	-	-	-	-	-	-	-
l.dens.brute.Hab.RH	-	-	-	-	-	-	-	-	-
l.dens.brute.HabGlob.HINTOL	-	-	-	-0.200	-	-	-	-	-0.168
l.dens.brute.HabGlob.HTOL	0.028	-0.253	-	-	-	-	-	-	-
l.dens.brute.HabRepro.RHPAR	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.198
l.dens.brute.HabTroph.B	-	-0.084	-	-	-	-	-	-	-
l.dens.brute.Migration.POTAD	-	-0.188	-	-	-0.137	-	-	-	-
l.dens.brute.Repro.LITH	-	-	-	-	-	-	-	-	-
l.ric.brute.EauGeneral.TOL	0.286	-	-	-	-	-	0.052	-	0.091
l.ric.brute.EauO2.O2INTOL	-	-	-	-	-	-	-0.880	-	-0.579
l.ric.brute.EauTemp.EUTHER	0.101	-	-	-	-	-	-	-	0.109
l.ric.brute.EauTemp.STTHER	-	-	-	-0.526	-	-	-1.291	-0.093	-0.256
l.ric.brute.Hab.LIMNO	0.758	-	-	0.143	-	-	0.502	-	0.246
l.ric.brute.HabGlob.HTOL	0.234	-	-	-	-	-	0.107	-	-
l.ric.brute.HabRepro.LIPAR	0.704	-	-	-	-	-	0.171	-	0.499
l.ric.brute.HabTroph.WC	0.483	-	-	-	-	-	-	-	0.548
l.ric.brute.Repro.PHLI	0.282	-	-	0.203	-	-	-	-	0.024
l.ric.brute.Troph.OMNI	-	-	-	-	-	-	0.267	-	0.305
l.ric.offset.EauGeneral.INTOL	-	-	-	-0.829	-	-	-0.539	-	-
l.ric.offset.EauGeneral.TOL	0.130	-	-	0.054	-	-	0.563	-	0.027
l.ric.offset.EauO2.O2INTOL	-	-	-	-0.562	-	-	-1.591	-	-0.638
l.ric.offset.EauTemp.EUTHER	0.051	-	-	-	-	-	0.287	-	0.172
l.ric.offset.EauTemp.STTHER	-	-	-	-0.424	-	-	-0.873	-	-0.879
l.ric.offset.Hab.EURY	-0.379	-	-	-0.434	-	-	-0.290	-	-0.176
l.ric.offset.Hab.LIMNO	0.636	-	-	0.570	-	-	0.815	-	0.125
l.ric.offset.HabGlob.HTOL	-	-	-	-	-	-	0.645	-	-
l.ric.offset.HabRepro.LIPAR	0.568	-	-	0.189	-	-	0.247	-	0.262
l.ric.offset.HabRepro.RHPAR	-0.079	-	-	-0.906	-	-	-0.987	-	-0.586
l.ric.offset.Repro.LITH	-	-	-	-0.149	-	-	-0.354	-	-
l.ric.offset.Repro.PHLI	0.062	-	-	-	-	-	0.272	-	-
l.ric.offset.ReproB.FR	-	-	-	-	-	-	0.048	-	-
l.ric.offset.Troph.OMNI	-	-	-	-	-	-	0.184	-	-

On note un grand nombre de réponses à l'indice de pressions général pour la zone (PresclaBRE) ainsi qu'à des pressions relevant de la qualité de l'eau. Un nombre plus restreint de réponses concernent l'hydrologie, la navigation et la présence d'étang.

### 6.2.3 Métriques retenues

Les critères de sélection utilisés sont rappelés ici :

- Représentativité des métriques (cf. § 5.3) ;
- Qualité des modèles statistiques (cf. § 6.1.3) ;
- Sensibilité aux pressions individuelles et à l'indice de pressions général par zone (cf. § 6.2.2) ;
- Corrélations modérées entre les métriques.

Pour ce dernier critère, nous avons retenu un seuil de 0,70, un peu plus sévère que classiquement (0,80). Le choix entre deux ou plusieurs métriques corrélées s'est fait sur la base de l'examen de la qualité des modèles et de l'intensité maximale de réponse aux pressions.

Tableau 72 – Métriques sélectionnées par zone et sens de réponse des métriques (pos : réponse positive ; neg : réponse négative ; bilat : réponse bilatérale).

Métriques	Zones			
	Truite	Ombre	Barbeau	Brème
I.abond.offset.EauGeneral.INTOL	-	-	neg	-
I.abond.offset.EauO2.O2INTOL	bilat	-	neg	neg
I.abond.offset.Hab.EURY	-	-	-	neg
I.abond.offset.HabGlob.HINTOL	neg	neg	-	neg
I.abond.offset.HabRepro.EUPAR	bilat	-	-	-
I.abond.offset.HabRepro.RHPAR	-	-	neg	neg
I.abond.offset.Repro.LITH	bilat	-	-	-
I.ric.brute.EauGeneral.INTOL	-	-	neg	-
I.ric.brute.HabTroph.WC	-	-	-	pos
I.ric.offset.EauGeneral.INTOL	-	neg	-	-
I.ric.offset.EauO2.O2INTOL	neg	bilat	-	-
I.ric.offset.EauTemp.STTHER	-	-	-	neg
I.ric.offset.Hab.EURY	-	neg	-	neg
I.ric.offset.Hab.LIMNO	bilat	pos	-	-
I.ric.offset.HabRepro.LIPAR	-	-	pos	pos
I.ric.offset.HabRepro.RHPAR	neg	-	-	-
I.ric.offset.Troph.OMNI	-	pos	-	-
<i>Nombre de métriques</i>	7	6	5	8

## 6.3 Transformation des métriques et valeurs en EQR

Comme présenté dans le tableau précédent, les métriques retenues dans les différentes zones (5 à 8) ne sont pas toujours les mêmes. De plus, les réponses varient, et ceci en raison de la spécificité de ces réponses selon les pressions. La même métrique, lorsqu'elle est retenue dans plusieurs zones, peut présenter des sens et des intensités de réponse différentes selon les pressions : réponses positive, négative, voir bilatérale.

Une transformation est alors effectuée afin que toutes les métriques présentent une réponse négative (décroissante) à un accroissement d'une ou plusieurs pressions :

- pour les métriques bilatérales, on retient l'écart absolu à la valeur prédite (zéro) par le modèle ;
- pour les métriques présentant une réponse croissante on retient l'inverse de cet écart ;
- pour les métriques présentant une réponse décroissante, la valeur initiale de la métrique est conservée.

Les métriques sont ensuite transformées en EQR en divisant les valeurs par la médiane des sites de « référence » pour la zone considérée.

L'étape suivante consiste à recalculer les métriques entre 0 et 1. Pour ce faire, on calcule sur la totalité des sites de la zone (sites perturbés et non perturbés) les quantiles 5 % et 95 % de la distribution des valeurs de chacune des métriques.

Après transformations, toutes les valeurs comprises entre ces deux quantiles varient de 0 à 1. Les valeurs supérieures au quantile 95 % avant transformation sont ramenées à 1 sur la nouvelle échelle et toutes les valeurs inférieures au quantile 5 % sont ramenées à 0 sur la nouvelle échelle. De plus, une transformation supplémentaire affecte les valeurs afin, qu'au final, la valeur médiane des sites de « référence » soit égale 1. Ainsi, au final, les métriques sont-elles standardisées et leurs valeurs sont comparables et s'expriment en écart à un état de « référence » dont la valeur médiane est toujours égal à 0,80, quelque soit la métrique et la zone considérée.

## 6.4 Agrégation des métriques

Comme nous l'avons présenté précédemment, l'intensité de réponse d'une même métrique aux différentes pressions est variable. Il s'ensuit que, pour une zone donnée et en fonction des corrélations observées entre les différentes pressions elles-mêmes, la construction d'un indicateur par la simple moyenne des métriques retenues tendra à ne rendre compte que des altérations pour lesquelles le plus grand nombre de métriques sont sensibles. Une altération qui n'est détectée que par une seule métrique (comme cela est souvent le cas pour les perturbations hydro-morphologiques) sera peu détectable par l'indicateur, la majorité des métriques définissant la note étant insensible à cette pression particulière.

Afin d'accroître la sensibilité de l'indicateur aux différentes pressions, nous avons opté pour une approche ne retenant, pour un site considéré, que les 3 métriques présentant les valeurs les plus faibles, c'est-à-dire les sensibilités les plus fortes.

De la sorte, une valeur élevée de l'indicateur signifie qu'aucune métrique n'est affectée par des pressions sur le site. Une valeur relativement faible peut être générée par une seule métrique. Si 3 des 5 à 8 métriques (selon les zones) sont proches de 0, alors l'indicateur lui-même présentera une note minimale.

Finalement, chacun des 4 indicateurs défini par zone varie entre 0 et 1 et la médiane des sites de « référence » est égale à 0,80

Au final, et pour les 4 zones considérées, l'indicateur est donc obtenu par la moyenne de 3 métriques, mais ces dernières varient d'un site à l'autre. La standardisation préalablement appliquée aux métriques puis à l'indicateur lui-même assure la comparabilité des résultats entre sites et zone, et permet de rendre compte de façon similaire d'un écart à l'état de « référence » par zone.

## 6.5 Premier établissement des limites de classes

La fixation des limites de classes de qualité écologique tiendra au final d'abord compte des recommandations issues du groupe d'intercalibration européen traitant de l'indicateur poissons dans les cours d'eau. Dans un premier temps, et dans l'attente des résultats de l'intercalibration, des bornes provisoires ont été fixées en se basant sur la régression entre les valeurs de l'IPR et de l'IPR+ (en utilisant les sites de la base de données IPR+), et en tenant compte d'un probable déplacement de la borne de la classe de très bon état (travaux en cours dans le groupe d'intercalibration) rendant l'IPR plus strict quant à l'attribution de ce très bon état.

Le coefficient de corrélation entre les valeurs de l'IPR+ version V.0 et du précédent IPR est de 0,566.

En fonction des résultats de la régression de l'IPR+ sur l'IPR et de la limite entre les classes écologiques bonne et moyenne pour ce dernier (valeur de 16), nous avons retenu, dans un premier temps, une valeur de 0,63 pour la limite de classe correspondante de l'IPR+.

Les bornes entre les classes « moyenne », « médiocre » et « mauvaise » sont choisies de sorte à ce que ces 3 classes soient d'amplitudes égales.

À ce stade, la limite entre les classes « bonnes » et « très bonne » a été fixée arbitrairement à 0,9.

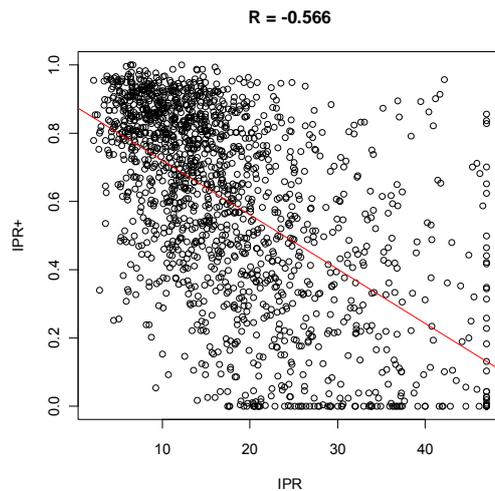


Figure 47 – Régression entre les valeurs de l'IPR+ V.0 et les valeurs de l'IPR pour les sites de la base de données de l'IPR+.

Ainsi, obtient-on le tableau de limites de classes suivant :

Tableau 73 – Limites des classes provisoires de l'IPR+ V.0 rendant compte de l'état écologique.

État écologique	Borne
1-Très bon	]0.90 ; 1.00]
2-Bon	]0.63 ; 0.90]
3-Moyen	]0.42 ; 0.63]
4-Médiocre	]0.21 ; 0.42]
5-Mauvais	]0.00 ; 0.21]

## 6.6 Résultats

### 6.6.1 Invariabilité de l'indicateur en l'absence de pression

En l'absence de pression (sites dits de « référence »), on s'attend à ce que les valeurs de l'IPR+ soient invariables, quelque soit le type d'environnement.

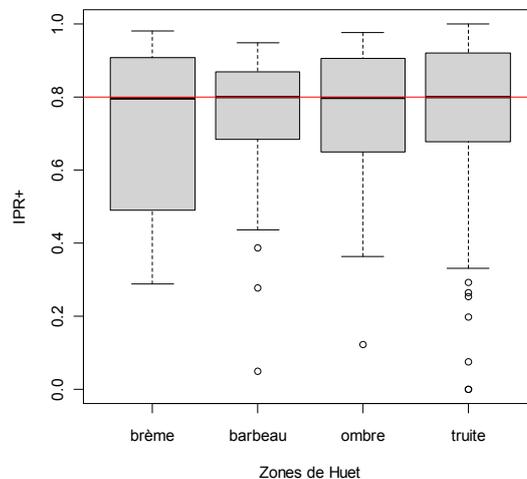


Figure 48 – Valeurs de l'indicateur IPR+ V.0 pour les sites de « référence » par zone de Huet.

Par construction, les valeurs médianes de l'IPR+ pour les 4 zones — et en l'absence de pression — sont les mêmes (0,80). On peut noter que les amplitudes des intervalles inter-quartiles sont comparables et réduites pour les différentes zones à l'exception de la zone à brème.

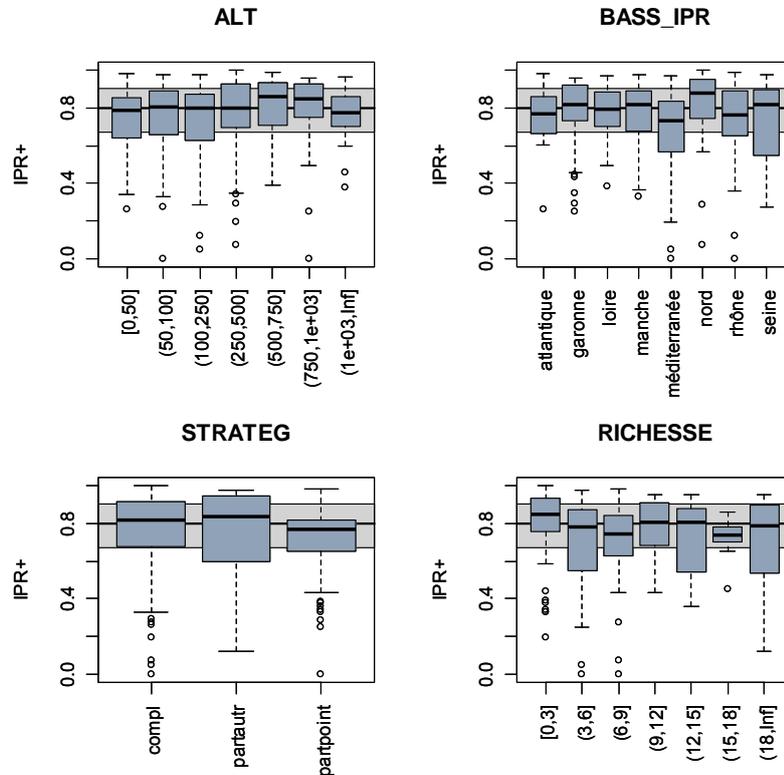


Figure 49 – Valeurs de l'indicateur IPR+ V.0 pour les sites de « référence » selon différents descripteurs. La gamme de valeurs de l'IPR+ colorée en bleu représente l'interquartile (25 %-75 %) pour l'ensemble des sites.

Si l'on s'intéresse aux réponses de l'IPR+ observées sur les sites de « référence » et à des paramètres non pris en compte dans les modèles, on observe que l'indicateur est insensible à l'altitude, mais également à l'appartenance à l'un des bassins hydrographiques, et ceci, bien qu'aucun descripteur à large échelle (régionale) ne soit rentré dans le modèle.

Il est également intéressant de noter que la richesse spécifique, en l'absence de pression, n'influe pas sur la note de l'indicateur.

Les valeurs médianes, obtenues pour les différentes stratégies d'échantillonnage, sont également proches. Ceci est attendu dans la mesure où une correction est effectuée en fonction de la stratégie d'échantillonnage lors de l'établissement des valeurs des métriques. En revanche, il est intéressant de noter que les variances associées sont comparables — en particulier les pêches dites « complètes » et « partielles par points » qui constituent les deux techniques d'échantillonnage utilisées à l'heure actuelle dans les réseaux.

## 6.6.2 Réponses aux pressions par zone de Huet

Les premiers résultats sont présentés ci-dessous sous forme graphiques.

### Réponses aux indices de pressions synthétiques spécifiques

Lorsque l'on s'intéresse à la réponse de l'IPR+ aux 4 indices de pressions spécifiques dans leur zone de Huet respectives, nous pouvons constater que c'est pour la zone à ombre qu'il est le plus difficile d'observer une réponse forte. Ceci s'explique sans doute par le fait que la zone à ombre est, de manière générale, plus difficile que les autres à déterminer et que, par ailleurs, il n'existe pas de réponse directe des métriques — prises individuellement — à l'indice de pressions spécifique à cette zone, comme nous l'avons vu précédemment.

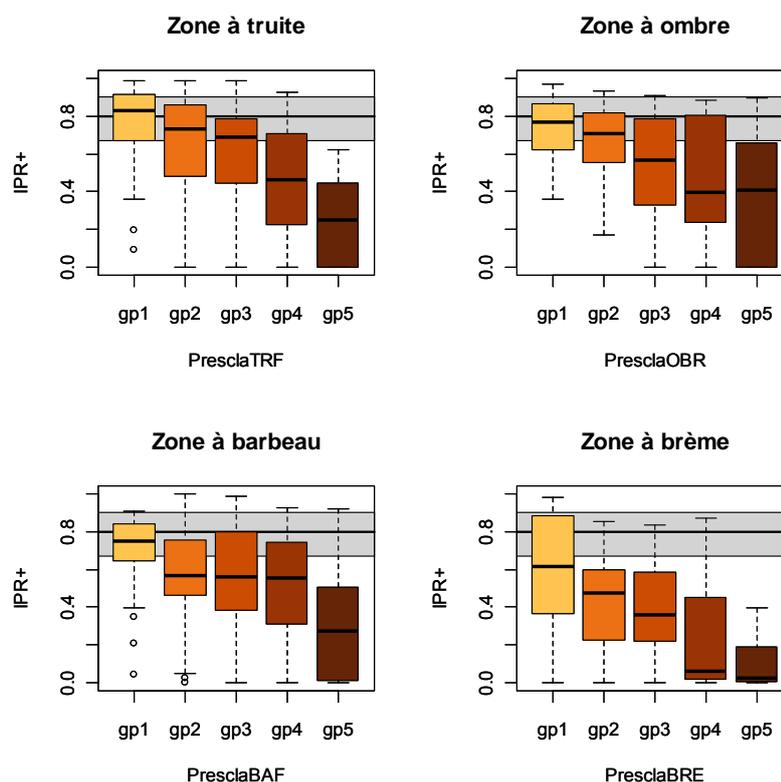


Figure 50 – Réponses de l'IPR+ V.0 aux 4 indices de pressions spécifiques définis par zone de Huet. La gamme de valeurs de l'IPR+ colorées en gris représente l'interquartile (25 %-75 %) et la médiane des valeurs de l'ensemble des sites dits de « référence ». L'intensité de la réponse de l'indicateur est à apprécier en termes d'écart par rapport à cet intervalle.

### Réponses aux pressions individuelles par zone

Nous rappelons ici que les définitions des pressions et des modalités sont fournies en annexe 1. Dans les représentations graphiques ci-après, les modalités des pressions ont été notées de A (absence de pression) à D (pression la plus forte). La gamme de valeurs de l'IPR+ limitée par les deux lignes horizontales représente l'interquartile (25 %-75 %) et la médiane des valeurs des sites dits de « référence ».

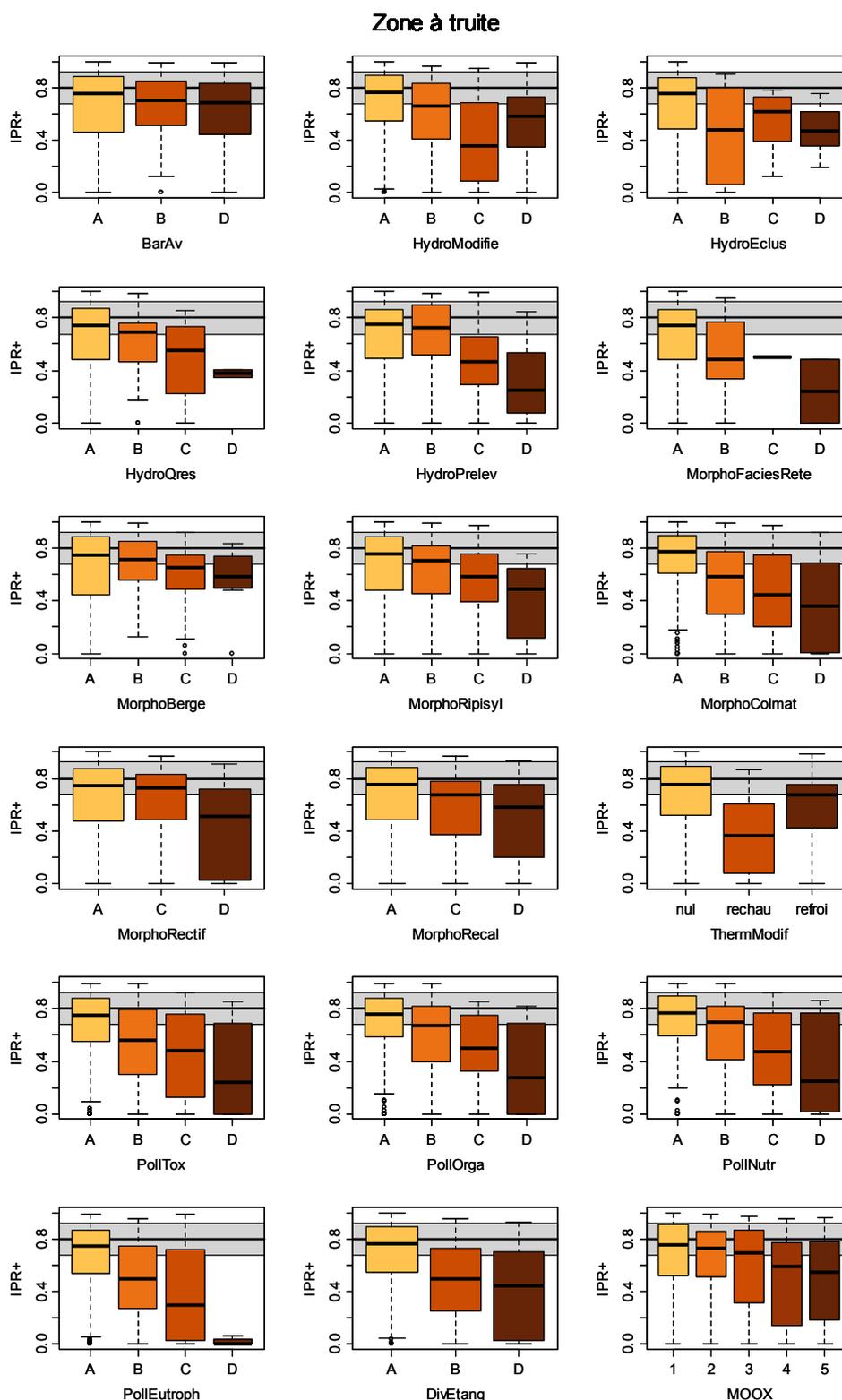


Figure 51 – Réponses de l'IPR+ V.0 aux pressions individuelles pour la zone à truite. La gamme de valeurs de l'IPR+ colorées en gris représente l'interquartile (25 %-75 %) et la médiane des valeurs des sites dits de « référence ». L'intensité de la réponse de l'indicateur est à apprécier en termes d'écart par rapport à cet intervalle.

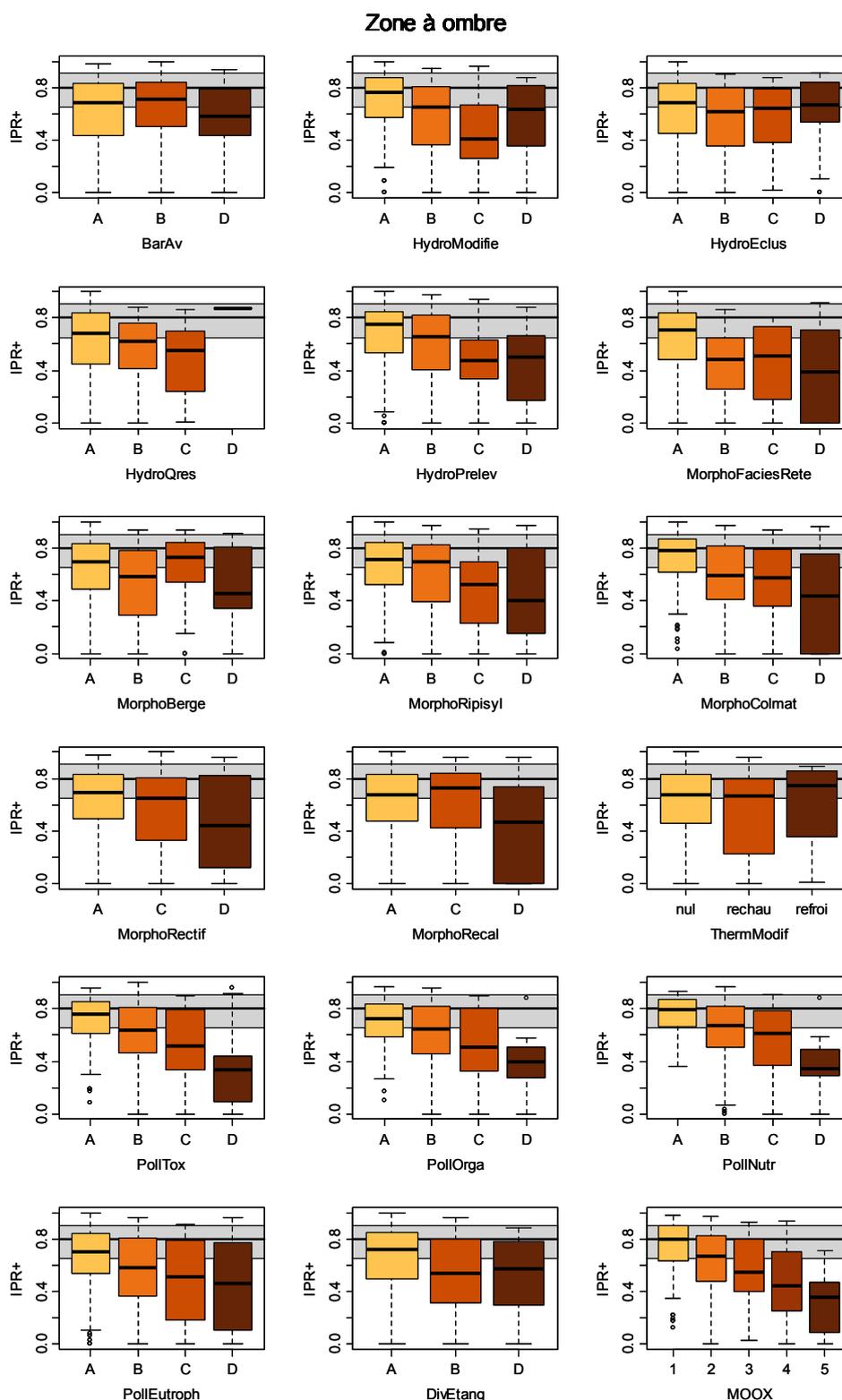


Figure 52 – Réponses de l'IPR+ V.0 aux pressions individuelles pour la zone à ombre. La gamme de valeurs de l'IPR+ colorées en gris représente l'interquartile (25 %-75 %) et la médiane des valeurs des sites dits de « référence ». L'intensité de la réponse de l'indicateur est à apprécier en termes d'écart par rapport à cet intervalle.

**Zone à barbeau**

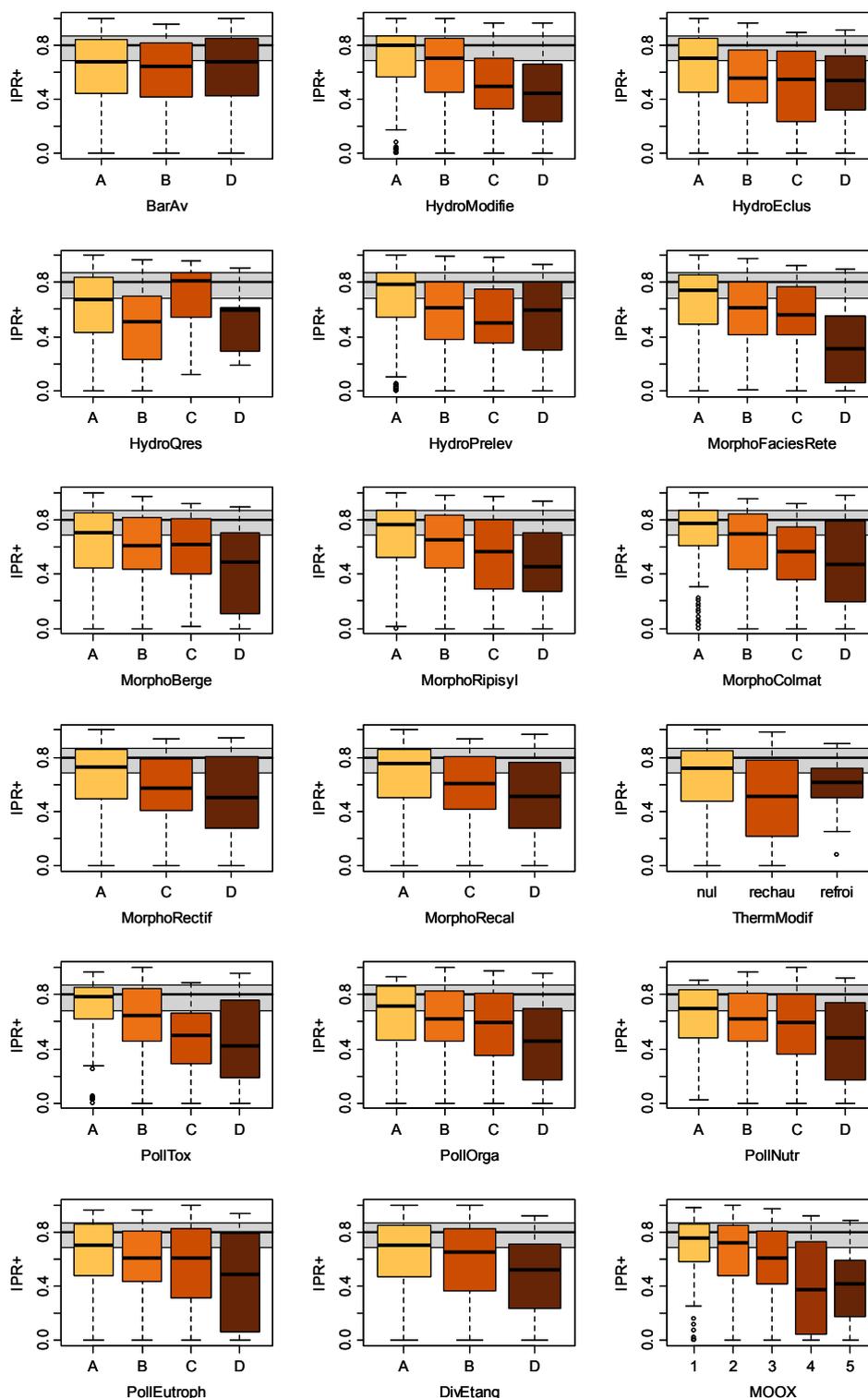


Figure 53 – Réponses de l'IPR+ V.0 aux pressions individuelles pour la zone à barbeau. La gamme de valeurs de l'IPR+ colorées en gris représente l'interquartile (25 %-75 %) et la médiane des valeurs des sites dits de « référence ». L'intensité de la réponse de l'indicateur est à apprécier en termes d'écart par rapport à cet intervalle.

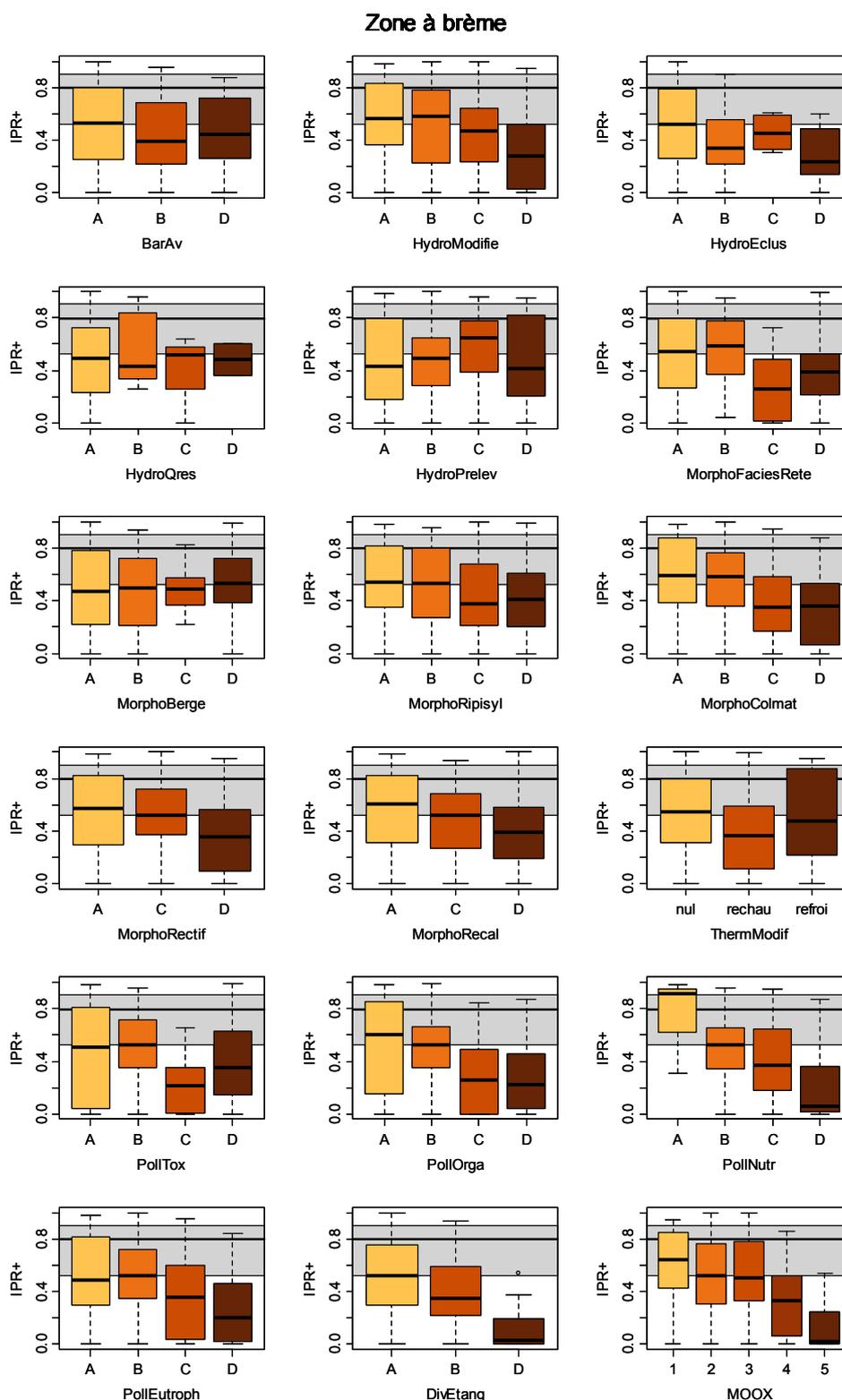


Figure 54 – Réponses de l'IPR+ V.0 aux pressions individuelles pour la zone à brème. La gamme de valeurs de l'IPR+ colorées en gris représente l'interquartile (25 %-75 %) et la médiane des valeurs des sites dits de « référence ». L'intensité de la réponse de l'indicateur est à apprécier en termes d'écart par rapport à cet intervalle.

### 6.6.3 Évaluation des résultats par les délégations interrégionales

Afin de présenter les résultats de la version V.0 de l'IPR+, les différentes délégations interrégionales ont été visitées successivement de mai à juillet 2011 à l'exception de la DiR 6 pour laquelle les échanges se sont faits par courrier électronique à la fin du mois de juillet. La synthèse de l'évaluation des résultats par les agents de l'ONEMA est présentée ci-dessous.

Tableau 74 – Calendrier des visites des DiR par l'IRSTEA durant le printemps et l'été 2011.

Date	DiR	Lieu	Participants IRSTEA	Participants ONEMA
25 mai	7	Toulouse (31)	O. Delaigue et D. Pont	L. Blanc, R. Martin, L. Saint-Olympe et M. Tual
26 mai	8	Grabels (34)	O. Delaigue et D. Pont	D. Baril, D. Beaudou (par email), M. Cagnant, et S. Lefebvre
15 juin	5	Bron (69)	O. Delaigue et D. Pont	N. Roset
01 juillet	9	Dijon (21)	O. Delaigue et D. Pont	J. Bouchard et divers agents
04 juillet	2	Cesson-Sévigné (35)	O. Delaigue et D. Pont	J. Berdayès, O. Ledouble et T. Vigneront
05 juillet	4	Saint-Pierre-des-Corps (37)	O. Delaigue et D. Pont	K. Banyik, C. Bramard, B. Durozoi, M. Thiret et S. Tomanova
07 juillet	3	Marly (57)	O. Delaigue et D. Pont	S. Manné et divers agents
12 juillet	1	Compiègne (60)	A. Marzin et D. Pont	C. Blanchard et divers agents

En préalable aux visites, le rapport intermédiaire relatif au développement de l'IPR+ version V.0 a été fourni, ainsi que l'ensemble des données relatives aux sites de chacune des DiR concernées (principales variables environnementales et indice de pression, valeurs de l'IPR et de l'IPR+, etc.).

Les réunions se sont organisées en deux temps :

- le matin : présentation de la version V.0 de l'IPR+ et de la méthodologie employée, et échanges sur les choix techniques opérés ;
- l'après-midi : examen critique des scores donnés par l'IPR+ V.0.

La discussion autour des évaluations par l'IPR+ s'est organisée autour d'une comparaison avec les valeurs antérieurement obtenues avec l'IPR (focalisation sur les cas de forte discordance) et avec les avis d'expert. À l'occasion, les évaluations des paramètres environnementaux et de l'intensité des pressions ont été rediscutées.

Sur l'ensemble des sites, l'IPR+ et l'IPR classent un nombre relatif comparable de sites en classes 1 ou 2 (54,1 % et 54,5 %, tableau ci-dessous). La différence essentielle réside sur le plus grand nombre de sites positionnés en classes 4-5 dans l'IPR+ par rapport à l'IPR (25,8 % contre 19,2 %).

Des différences plus importantes apparaissent cependant à l'échelle des DiR.

Tableau 75 – Pourcentages de sites retenus en classes 1-2 par l'IPR et IPR+.

Indice	DiR1	DiR2	DiR3	DiR4	DiR5	DiR6	DiR7	DiR8	DiR9
IPR	56.9 %	52.2 %	56.7 %	39.7 %	48.2 %	65.6 %	61.8 %	50.8 %	48.8 %
IPR+	54.5 %	34.8 %	64.6 %	47.8 %	58.4 %	57.0 %	49.8 %	54.4 %	57.4 %

Près de 41 % des sites sont classés de façon similaire par les 2 indices (tableau ci-dessous). 84 % des sites ont un écart de au plus une classe entre les deux indicateurs.

Tableau 76 – Écarts de classes entre les 2 indicateurs (classe IPR+ moins la classe IPR) en pourcentage du nombre total de sites.

Nb. de classes d'écart	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4
Nb. de sites	0.2 %	1.1 %	4.5 %	20.7 %	40.8 %	22.9 %	8.4 %	1.5 %	0.0 %

Il est cependant important de rappeler qu'au stade de la version V.0, la définition des limites de classes est provisoire et pour une large part arbitraire. Elle sera reprise lors de l'élaboration de la version V.1 pour proposer des possibilités de limites de classes en conformité avec l'exercice d'intercalibration.

De manière générale, les valeurs obtenues avec l'IPR+ sont considérées par les experts comme de meilleure qualité qu'avec l'IPR. Cependant, différents problèmes ont été mis à jour. Certains sont spécifiques à une situation environnementale particulière. Mais le plus souvent, les causes de désaccord sont communes entre les experts régionaux.

**1) La question du mois de pêche.** Les pêches effectuées au printemps, en particulier dans les grands cours d'eau, tendent à fournir des notes faussées de l'indicateur (problème assez aigu dans les DiR 1 et 2) du fait de la non prise en compte de la reproduction des cyprinidés les moins rhéophiles. Il est clair qu'il faut privilégier des pêches d'automne pour les grands milieux.

**2)** Il est prévu d'indiquer des **tailles minimales d'individus** par espèce afin de ne pas comptabiliser les larves.

**3) La zonation.** La méthode de Huet retenue pour la zonation des sites et le choix des métriques correspondantes posent peu de problèmes dans les DiR du nord de la France. En revanche, cette classification semble peu adaptée dans les régions où les conditions thermiques s'éloignent de celles prévalant en Belgique. Cela pose en particulier problème pour les sites sous climat méditerranéens où la zonation est très souvent décalée d'une classe vers l'aval par rapport à Huet, mais aussi dans la zone alpine où on observe un décalage inverse du fait d'un climat plus froid et d'un régime à tendance nival dominant. C'est la zone à ombre qui semble poser le plus de problème, y compris sur les côtières bretons malgré un climat proche de la Belgique.

Dans le cas des cours d'eau fortement chenalisés, l'usage de la largeur de lame d'eau mesurée (et non de la largeur du lit) peut entraîner également une erreur de classification.

Il semble que les sites classés initialement en zone « upstream » dans la grille des collègues belges posent souvent problème. Ils sont positionnés en TRF et ceci est souvent incorrect.

Des nouvelles tentatives de classification vont être mises en œuvre par l'IRSTEA, notamment à partir de la modélisation des distributions spécifiques.

Il est envisagé que les DiR (en particulier la DiR 8, la DiR 5, mais aussi la DiR 2) effectuent une classification de leurs sites à dire d'expert, ce qui permettrait à l'IRSTEA de confronter et de mieux définir les limites de zones.

**4) Cas de la Corse.** En l'état, la zonation ne convient absolument pas pour la Corse en raison de la spécificité des peuplements et de l'organisation longitudinale. Une classification « sur mesure » est à prévoir. Il faudrait également considérer les travaux antérieurs, par exemple la zonation proposée par B. Roché (contact avec la DiR Montpellier sur ce sujet).

**5) Cas des cours d'eau des Landes.** Des reclassements typologiques semblent assez souvent nécessaires.

**6) Les sites à alimentation souterraine forte.** Dans ces sites, la relation température de l'air et température de l'eau est moins forte et cela entraîne d'une part une mauvaise estimation des conditions de « référence », et donc une mauvaise classification du site.

Les cours d'eau du bassin Seine-Normandie sur le Crétacé supérieur sont très représentatifs de ce problème à une échelle régionale. On peut envisager des glissements typologiques vers l'amont.

**7) Les sites à effectif trop faible pour évaluer correctement l'indicateur.** La piste visant à définir un effectif minimal capturé par zone se confirme. Il paraît envisageable soit de faire des seuils arbitraires (ex : 50 poissons dans zone à truite, au moins 200 dans zone à brème), soit à terme de construire des relations richesse-effectif capturé. Ce point reste sensible ; les sites les plus perturbés ayant souvent les plus petits effectifs, et la pêche par point tendant également à réduire la taille de l'échantillon. Une réflexion sera menée en 2012.

**8) Cas des cours d'eau à très faible richesse** (que TRF ou au plus 2 espèces). Ce cas est particulièrement fréquent dans la DiR 5, mais est présent sur l'ensemble des DiR. Une métrique de « classe de tailles » basée sur la truite sera ajoutée à l'indice. Toutefois, s'il s'avère que l'efficacité de l'indicateur reste faible pour ce type de cours, il faudra clairement limiter l'usage de l'IPR+ sur ces

cours d'eau à très faible richesse. Il faudra alors définir la méthode pour exclure ces sites de l'évaluation (c'est-à-dire des sites d'altitudes ou les densités de truite sont très faibles).

**9) Importance trop forte des espèces très faiblement représentées dans l'échantillon.** C'est en particulier le cas d'espèces de type limnophile présentes quasi « accidentellement » dans le cours d'eau en raison de la présence d'étangs connectés à l'amont.

**10) Cas des cours d'eau de tête de bassin** avec présence d'espèces bien représentées (numériquement) et dont le maintien des populations est lié à l'existence d'annexes herbues. Ce sont aussi souvent des cours d'eau assez frais. C'est en particulier le cas posé dans la DiR 4 (ou la DiR 1) avec l'épinochette. Sa présence décline ce type de sites sans qu'il y ait pour autant d'altération du site lui-même.

Pour le problème spécifique de l'épinochette, il est envisageable de modifier sa classification dans les guildes.

La perche pose également un problème de ce type dans les Flandres, du fait de sa présence naturelle.

**11) Cas des têtes de bassin de cours d'eau côtiers avec forte présence d'anguille.** Ce cas est mal pris en compte en l'état par l'IPR+. On peut, là aussi, penser à modifier le statut de l'anguille dans les guildes. Mais ce point reste à approfondir.

**12) Cas de l'indicateur en zone à ombre où les métriques basées sur la richesse sont sur-représentées.** On peut essayer de rajouter des métriques basées sur l'abondance, mais cela peut être difficile. On peut aussi envisager d'équilibrer le poids des métriques basées sur la richesse et l'abondance.

**13) Cas de la bucéphalose (DiR 2)** qui, en éliminant les cyprinidés, tend à accroître artificiellement la note de l'indice. L'indice n'est pas conçu pour prendre en compte les interactions biotiques de ce type. C'est une limite à son utilisation. L'introduction à terme d'une métrique « pathologie » serait à envisager.

**14) Cas des grands cours d'eau chenalisés et ayant possédé des annexes historiquement** (en particulier DiR 3). L'indice fournit des notes trop élevées du fait que l'absence d'espèces limnophiles n'est pas pénalisante (au contraire).

Les solutions à ce problème restent complexes en l'absence d'un nombre suffisant de sites de « référence » pour ce type de milieu. On peut envisager en 2012 :

- de réexaminer les sites où des pêches incluant les annexes ont été faites ;
- de bilatéraliser certaines métrique pour ces cours d'eau comme les espèces oxyphiles par exemple ;
- de demander à l'expert de définir au préalable ces sites comme possédant en situation de « référence » des annexes et de les pénaliser en cas d'absence d'espèces limnophiles.

Dans ce contexte, l'usage d'une métrique de richesse totale serait également intéressant, dans la mesure où cela déclasserait les sites à richesse trop faible. De même, on peut penser à des métriques additionnelles aidant à l'interprétation.

**15) Cas des confluences** où le peuplement sur un affluent de petite taille est modifié suite à la présence d'espèces en provenance du fleuve principal. Le problème est sans doute d'abord celui de la représentativité de la station par rapport à la masse d'eau.

**16) Cas des espèces invasives.** Actuellement, ces espèces ne posent pas vraiment problème car elles sont déclassantes. En revanche, à l'avenir, les invasions par les *Pseudogobio* vont être à gérer.

## 7 Version V.1.1 de l'indice

Cette nouvelle version de l'indicateur IPR+ est similaire dans sa construction à la version V.0 du mois de mai 2011. Néanmoins, elle comporte quelques modifications significatives.

Cette version a cherché en particulier à tenir compte des avis recueillis sur la version V.0 dans les DiR.

### 7.1 Modélisation

#### 7.1.1 Variables environnementales

##### 7.1.1.1 Zonation de Huet

Une des principales modifications apportées a été la redéfinition de la zonation de Huet (HUET54) à partir de la modélisation par régression non linéaire des courbes du « graphique des pentes », de l'article de 1954 (cf. *supra*).

##### 7.1.1.2 Données climatiques

Par ailleurs, les métriques ont été à nouveau modélisées en utilisant des données de température et de précipitations SAFRAN/France (Météo-France). Ici, la température et les précipitations interannuelles sont calculées sur une période de 10 années (cf. *supra*) précédant l'opération de pêche. On dispose donc :

- de la température moyenne interannuelle au niveau de la station (TEMP\_MEAN\_STA\_Y) ;
- de l'amplitude thermique interannuelle au niveau de la station (TEMP\_AMPL\_STA\_Y) ;
- de la température moyenne interannuelle au niveau du BV amont (TEMP\_MEAN\_BV\_Y) ;
- des précipitations moyennes interannuelles au niveau du BV amont (PREC\_MEAN\_BV\_Y).

Le recours à cette base de données de Météo-France permet de s'appuyer sur des données officielles et validées. Ces données étant, par ailleurs, mises à jour régulièrement, il sera dès lors possible d'en disposer pour les futures années.

##### 7.1.1.3 Puissance hydraulique

La puissance hydraulique (POW) est toujours estimée à l'aide de la formule de Turc (1954). Du fait de la prise en compte de la température moyenne mais aussi des précipitations sur le BV amont (TEMP\_MEAN\_BV\_Y et PREC\_MEAN\_BV\_Y) dans le calcul de la puissance (cf. *supra*), la variable POW sera affectée par la modification des données climatiques (cf. *supra*).

##### 7.1.1.4 Corrélations des variables environnementales retenues pour la modélisation

Tableau 77 – Matrice de corrélations des variables environnementales retenues pour la modélisation (sites de « référence »). Les variables dont le nom est précédé d'un "L" minuscule sont exprimées en logarithme népérien.

Variable	IBV_FINAL	IPOW	TEMP_MEAN_STA_Y	TEMP_AMPL_STA_Y
IBV_FINAL	1.000	0.529	0.288	0.063
IPOW	0.529	1.000	0.089	0.195
TEMP_MEAN_STA_Y	0.288	0.089	1.000	0.019
TEMP_AMPL_STA_Y	0.063	0.195	0.019	1.000

Tableau 78 – Matrice de corrélations des variables environnementales retenues pour la modélisation (sites de « calibration »). Les variables dont le nom est précédé d'un "L" minuscule sont exprimées en logarithme népérien.

Variable	IBV_FINAL	IPOW	TEMP_MEAN_STA_Y	TEMP_AMPL_STA_Y
IBV_FINAL	1.000	0.506	0.263	0.096
IPOW	0.506	1.000	0.053	0.129
TEMP_MEAN_STA_Y	0.263	0.053	1.000	-0.027
TEMP_AMPL_STA_Y	0.096	0.129	-0.027	1.000

## 7.1.2 Considération des espèces rares

Afin de palier au poids trop grand alloué aux espèces rares dans la version V.0 de l'indicateur — en particulier pour les métriques de richesse —, il a été décidé de ne pas prendre en compte ces espèces dans le calcul des métriques :

- lorsque l'effectif total d'une pêche est inférieur ou égal à 100 individus, les espèces représentées par un individu unique ne sont pas considérées ;
- lorsque l'effectif pêché est supérieur à 100 poissons, on ne considère pas les espèces dont l'effectif n'excède pas 1 % de l'effectif total, arrondi à l'individu supérieur près.

Par exemple, pour un effectif de 150 individus, 1 % équivaut à 1,5 individu ; arrondi à l'unité, cela équivaut à 2 individus. Dans ce cas, si une espèce est représenté par 1 ou 2 individus, elle ne sera pas considérée. En revanche, s'il y a 3 individus ou plus, elle le sera.

## 7.2 Sélection des métriques

Dans la version V.1.1 de l'indicateur, la typologie de Huet n'est utilisée que lors de l'étape de la sélection des métriques. Une des différences majeure avec la version V.0 est qu'une fois les métriques sélectionnées par zone, on veille à ne retenir finalement que celles qui ne présentent pas de comportement aberrant dans les autres zones. Elles seront en effet toutes utilisées par la suite, quelque soit la zone.

Les critères de sélection des métriques restent invariants par rapport à la version V.0.

### 7.2.1 Réponses significatives par zone et par pression

#### 7.2.1.1 Zone à truite

Dans les examens suivants, seules les métriques présentant des réponses de forte intensité sont sélectionnées (absence de chevauchement entre les interquartiles du groupe de sites caractérisés par une valeur nulle de la pression considérée et du groupe correspondant à l'intensité la plus forte de cette pression). Le nombre minimum de sites dans les deux groupes doit être respectivement de 5 et de 10.

*Tableau 79 – Réponses des métriques pour la zone à truite. Les valeurs indiquent, en cas de réponse, la valeur absolue de l'écart entre les deux interquartiles (groupe sans pression et à pression maximale).*

Métrique	DivÉtang	HydroEclus	HydroModifie	HydroPrelev	MorphoBerge	MorphoColmat	MorphoTransSolid	PollAcid	PresciaTRF
I.abond.offset.EauO2.O2INTOL	-	0.179	-	-	0.008	-	-	-	-
I.abond.offset.EauO2.O2TOL	-	-0.208	-	-	-	-	-	-	-
I.abond.offset.EauTemp.EUTHER	0.135	-	-	-	-	-	-	-	-
I.abond.offset.EauTemp.STTHER	-	0.059	-	-	-	-	-	-	-
I.abond.offset.Hab.EURY	-	0.176	-	-	-	-	-	-	0.120
I.abond.offset.HabRepro.RHPAR	-	0.102	-	-	-	-	-	-	-
I.abond.offset.Repro.LITH	-	0.192	-	-	-	-	-	-	-
I.biom.brute.HabTroph.B	-	-	-	-	-	-	-	0.094	-
I.biom.brute.Migration.RESID	-	-	-	-	-	-	-	0.018	-
I.biom.offset.HabGlob.HIM	-	-	-	-	-	0.057	-	-	-
I.biom.offset.HabGlob.HTOL	-	-	-	0.016	-	-	-	-	-
I.dens.brute.EauO2.O2TOL	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.010
I.dens.brute.Hab.LIMNO	-	-0.046	-	-0.012	-0.002	-	-	-	-0.038
I.dens.brute.HabRepro.EUPAR	-	-0.055	-	-	-	-	-	-	-0.049
I.dens.brute.HabRepro.LIPAR	-	-	-	-	-0.001	-	-	-	-0.020
I.dens.brute.Repro.OSTR	-	-	-	-0.002	-	-	-	-	-
I.dens.brute.Repro.PHLI	-	-	-	-0.072	-	-	-	-	-

I.dens.brute.Troph.DETR	-	0.007	-	-	-	-	0.004	-	-
I.dens.brute.Troph.PISC	-	-0.017	-0.001	-0.002	-0.001	-	-0.006	-0.008	-0.003
I.ric.brute.EauGeneral.IM	0.110	-	-	-	-	-	-	-	-
I.ric.brute.EauGeneral.TOL	-	-0.614	-	-	-0.141	-	-0.122	-	-0.158
I.ric.brute.EauO2.O2IM	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.166
I.ric.brute.EauO2.O2TOL	-	-0.226	-	-	-	-	-	-	-
I.ric.brute.EauTemp.EUTHER	0.182	-	-	-	-	-	-	-	-
I.ric.brute.Hab.LIMNO	-	-0.611	-0.021	-0.089	-	-	-	-0.008	-0.007
I.ric.brute.Hab.RH	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.058
I.ric.brute.HabGlob.HIM	0.110	-	-	-	-	-	-	-	-
I.ric.brute.HabGlob.HTOL	-	-0.583	-	-	-0.135	-	-0.108	-	-0.163
I.ric.brute.HabRepro.EUPAR	-	-0.598	-0.031	-0.041	-	-	-	-0.026	-
I.ric.brute.HabRepro.LIPAR	-	-0.196	-	-0.020	-	-	-	-0.008	-0.166
I.ric.brute.HabTroph.WC	0.265	-	-	-	-	-	-	-	-
I.ric.brute.Migration.POTAD	-	-0.315	-	-	-0.156	-	-	-	-0.048
I.ric.brute.Migration.RESID	0.314	-	-	-	-	-	-	-	-
I.ric.brute.PC.NOP	0.021	-	-	-	-	-	-	-	-
I.ric.brute.Repro.OSTR	-	-0.115	-0.007	-	-0.024	-	-0.014	-0.004	-0.042
I.ric.brute.Repro.PHLI	-	-0.607	-	-0.091	-0.055	-	-	-	-0.060
I.ric.brute.ReproB.FR	0.414	-	-	-	-	-	-	-	-
I.ric.brute.ReproB.PRO	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.018
I.ric.brute.Troph.DETR	-	0.021	-	-	-	-	0.003	-	-
I.ric.brute.Troph.HERB	-	-0.319	-0.022	-0.055	-0.132	-	-0.081	-0.042	-0.129
I.ric.brute.Troph.INSV	0.074	-	-	-	-	-	-	-	-
I.ric.brute.Troph.OMNI	-	-0.827	-	-	-0.040	-	-	-	-0.167
I.ric.brute.Troph.PISC	-	-0.01	-	-	-0.033	-	-	-	-0.023
I.ric.offset.EauGeneral.INTOL	-0.185	-	-	-	-	-	-	-	-
I.ric.offset.EauTemp.EUTHER	0.172	-	-	-	-	-	-	-	-
I.ric.offset.Hab.EURY	-0.142	-	-	-	-	-	-	-	0.011
I.ric.offset.Hab.LIMNO	-	-0.160	-	-	-	-	-	-	-
I.ric.offset.HabGlob.HINTOL	-0.133	-	-	-	-	-	-	-	-
I.ric.offset.HabRepro.EUPAR	-	-0.168	-	-	-	-	-	-	-
I.ric.offset.HabRepro.RHPAR	-	0.004	-	-	-	-	-	-	-
I.ric.offset.Migration.RESID	0.238	-	-	-	-	-	-	-	-
I.ric.offset.Repro.LITH	-	0.015	-	-	-	-	-	-	-
I.ric.offset.Repro.PHLI	-	-0.188	-	-	-	-	-	-	-
I.ric.offset.ReproB.FR	0.137	-	-	-	-	-	-	-	-
I.ric.offset.Troph.DETR	-	0.019	-	-	-	-	-	-	-
I.ric.offset.Troph.HERB	-	-0.103	-	-0.009	-	-	-0.001	-	-0.036
I.ric.offset.Troph.OMNI	-	-0.272	-	-	-	-	-	-	-
I.ric.offset.Troph.PISC	-	-0.004	-	-	-	-	-	-	-

De nombreuses métriques présentent des réponses concernant les altérations hydrologiques, et en particulier aux éclusées. On observe également de nombreuses réponses à l'indice de pressions synthétique spécifique à la zone à truite (PresclaTRF).

### 7.2.1.2 Zone à ombre

Tableau 80 – Réponses des métriques pour la zone à ombre. Les valeurs indiquent, en cas de réponse, la valeur absolue de l'écart entre les deux interquartiles (groupe sans pression et à pression maximale).

Métrique	HydroEclus	MOOX	MorphoBerge	MorphoColmat	MorphoFaciesRete	PollNutr	PollOrga	PollTox	PresclaOBR
I.abond.offset.EauGeneral.IM	-	-	-	-	-0.072	-	-	-	-
I.abond.offset.EauGeneral.TOL	-	-	-	-	0.097	-	-	-	-
I.abond.offset.EauO2.O2TOL	-	-	-	-	0.150	-	-	-	-
I.abond.offset.HabGlob.HTOL	-	-	-	-	0.076	-	-	-	-
I.abond.offset.Troph.DETR	-	-	-	-	-	-0.444	-	-	-
I.dens.brute.EauGeneral.INTOL	-	-0.259	-	-	-	-	-	-	-
I.dens.brute.EauO2.O2TOL	-	-	-	-	-	-	-	-	0.060

I.dens.brute.Hab.LIMNO	-	-	-	-	0.145	-	-	-	0.216
I.dens.brute.HabGlob.HINTOL	-	-0.364	-	-	-	-	-	-	-
I.ric.brute.EauGeneral.INTOL	-	-0.311	-	-	-	-	-0.206	-	-
I.ric.brute.EauO2.O2INTOL	-	-	-	-	-	-0.026	-0.01	-	-
I.ric.brute.EauTemp.STTHER	-	-	-	-	-	-	-0.277	-0.099	-
I.ric.brute.HabGlob.HINTOL	-	-0.483	-	-	-	-	-0.346	-	-
I.ric.brute.HabRepro.LIPAR	-	-	-	0.052	-	-	-	-	-
I.ric.brute.Repro.OSTR	-0.036	-	-	-	-	-	-	-	-
I.ric.brute.Troph.HERB	-0.003	-	-	-	-	-	-	-	-
I.ric.brute.Troph.PISC	-	-	-0.034	-	-	-	-	-	-
I.ric.offset.Hab.LIMNO	-	-	-	-	0.024	-	-	-	0.105
I.ric.offset.HabGlob.HINTOL	-	-	-	-	-0.071	-	-	-	-
I.ric.offset.HabRepro.EUPAR	-	-	-	-	0.089	-	-	-	-
I.ric.offset.HabTroph.WC	-	-	-	-	0.008	-	-	-	-
I.ric.offset.Troph.HERB	-0.025	-	-	-	-	-	-	-	-

La sensibilité à la qualité de l'eau (MOOX, pollution par les nutriments) qui était est le phénomène dominant dans la zone à ombre pour la version V.0 reste présent mais est nettement moins fort. On peut noter un nombre relativement élevé de métriques sensibles à la présence d'un seuil (effet retenue). Contrairement à ce qui avait été observé pour la version V.0, on peut remarquer ici qu'il existe des métriques présentant des réponses à l'indice de pressions synthétique spécifique à la zone à ombre (PresclaOBR), même si elles ne sont pas très nombreuses. Le nombre total de métrique répondant aux pressions est plus faible que dans la version précédente.

### 7.2.1.3 Zone à barbeau

Tableau 81 – Réponses des métriques pour la zone à barbeau. Les valeurs indiquent, en cas de réponse, la valeur absolue de l'écart entre les deux interquartiles (groupe sans pression et à pression maximale).

Métrique	HydroEclus	MOOX	MorphoFaciesRete	PollNutr	PresclaBAF
I.abond.offset.EauGeneral.INTOL	-	-0.141	-	-	-
I.abond.offset.Hab.RH	-	-	-0.210	-	-
I.abond.offset.HabGlob.HINTOL	-	-0.393	-	-	-
I.abond.offset.HabRepro.RHPAR	-	-	-0.255	-	-
I.abond.offset.Troph.DETR	-	-0.009	-	-0.147	-
I.dens.brute.EauGeneral.INTOL	-	-	-0.026	-	-
I.dens.brute.HabGlob.HINTOL	-	-0.537	-	-	-
I.dens.brute.HabRepro.LIPAR	-	-	-	-	0.110
I.dens.brute.HabTroph.WC	-	-	-	0.121	-
I.dens.brute.Repro.OSTR	-0.191	-	-	-	-
I.dens.brute.Troph.HERB	-0.240	-	-	-	-
I.ric.brute.EauGeneral.INTOL	-	-0.101	-	-	-0.278
I.ric.brute.EauO2.O2INTOL	-	-0.104	-	-	-0.391
I.ric.brute.EauTemp.STTHER	-	-0.235	-	-	-
I.ric.brute.Hab.RH	-	-	-0.184	-	-0.177
I.ric.brute.HabRepro.RHPAR	-	-	-	-	-0.109
I.ric.brute.Repro.LITH	-	-	-	-	-0.103
I.ric.offset.EauGeneral.INTOL	-	-	-	-	-0.271
I.ric.offset.EauGeneral.TOL	-	-	-	-	0.003
I.ric.offset.EauO2.O2INTOL	-	-0.022	-	-	-0.097
I.ric.offset.Hab.LIMNO	-	-	-	-	0.037
I.ric.offset.Hab.RH	-	-	-0.349	-	-0.381
I.ric.offset.HabGlob.HTOL	-	-	-	-	0.070
I.ric.offset.HabRepro.RHPAR	-	-	-	-	-0.373
I.ric.offset.Repro.LITH	-	-	-	-	-0.336
I.ric.offset.Repro.OSTR	-0.183	-	-	-	-
I.ric.offset.Repro.PHLI	-	-	-	-	0.149
I.ric.offset.Troph.HERB	-	-	-	0.176	-

Comme pour la version V.0, les métriques sélectionnées pour la zone à barbeau répondent à un nombre restreint de pressions, bien que plus élevé à présent. Les réponses couvrent les altérations de la qualité de l'eau, la présence de retenue (seuil) et la modification du débit. On note également de nombreuses réponses à l'indice de pressions synthétique spécifique à la zone à barbeau (PresclaBAF).

#### 7.2.1.4 Zone à brème

Tableau 82 – Réponses des métriques pour la zone à brème. Les valeurs indiquent, en cas de réponse, la valeur absolue de l'écart entre les deux interquartiles (groupe sans pression et à pression maximale).

Métrique	DivEtang	DivNavig	HydroEclus	MOOX	MorphoBerge	PollEutroph	PollTox	PresclaBRE
I.abond.offset.EauGeneral.INTOL	-	-	-	-1.513	-	-	-	-1.994
I.abond.offset.EauO2.O2INTOL	-	-	-	-0.912	-	-	-	-1.148
I.abond.offset.EauTemp.STTHER	-	-	-	-0.284	-	-	-	-1.291
I.abond.offset.Hab.EURY	-	-	-	-	-	-	-	-0.235
I.abond.offset.Hab.RH	-	-	-	-	-	-	-	-0.339
I.abond.offset.HabGlob.HINTOL	-0.165	-	-	-1.195	-	-	-	-1.028
I.abond.offset.HabRepro.RHPAR	-	-	-	-	-	-	-	-0.987
I.abond.offset.HabTroph.WC	-	-	-	-	-	-	-	0.007
I.abond.offset.Troph.DETR	-0.809	0.076	-	-	0.127	-	-	-0.843
I.dens.brute.EauGeneral.INTOL	-	-	-	-0.165	-	-0.143	-	-1.128
I.dens.brute.EauO2.O2INTOL	-	-	-	-0.285	-	-	-	-0.442
I.dens.brute.EauTemp.STTHER	-0.154	-	-	-0.204	-	-0.175	-	-0.713
I.dens.brute.Hab.EURY	-	-	-	-	-	-	-	-0.069
I.dens.brute.Hab.RH	-	-	-	-	-	-	-	-0.280
I.dens.brute.HabGlob.HINTOL	-	-	-	-	-	-	-	-0.887
I.dens.brute.HabRepro.RHPAR	-	-	-	-	-	-	-	-0.030
I.dens.brute.Migration.POTAD	-	-0.130	-	-	-	-	-	-
I.dens.brute.Repro.OSTR	-	-0.932	-	-	-1.332	-	-	-
I.dens.brute.ReproB.PRO	-	-	0.539	-	-	-	-	-
I.dens.brute.Troph.DETR	-	0.084	-	-	0.050	-	-	-
I.dens.brute.Troph.HERB	-	-0.608	-	-	-0.703	-	-	-
I.ric.brute.EauGeneral.INTOL	-	-	-	-0.774	-	-	-	-1.828
I.ric.brute.EauO2.O2INTOL	-	-	-	-1.154	-	-	-	-1.360
I.ric.brute.EauTemp.STTHER	-	-	-	-0.397	-	-0.411	-	-1.470
I.ric.brute.Hab.RH	-	-	-	-	-	-	-	-0.428
I.ric.brute.HabGlob.HINTOL	-	-	-	-	-	-	-	-0.213
I.ric.brute.HabRepro.LIPAR	0.348	-	-	0.055	-	-	-	-
I.ric.brute.HabRepro.RHPAR	-	-	-	-	-	-	-	-0.267
I.ric.brute.HabTroph.WC	-	-	-	-	-0.018	-	-0.199	-
I.ric.brute.Repro.LITH	-	-	-	-	-	-	-	-0.263
I.ric.brute.Troph.DETR	-0.370	0.128	-	-	0.129	-	-	-1.113
I.ric.offset.EauGeneral.INTOL	-0.032	-	-	-0.744	-	-	-	-1.121
I.ric.offset.EauO2.O2INTOL	-0.324	-	-	-0.833	-	-	-	-1.226
I.ric.offset.EauTemp.STTHER	-0.327	-	-	-0.190	-	-0.133	-	-1.261
I.ric.offset.Hab.EURY	-0.961	-	-	-0.308	-	-	-	-
I.ric.offset.Hab.LIMNO	0.082	-	-	0.430	-	-	-	0.114
I.ric.offset.Hab.RH	-	-	-	-	-	-	-	-0.205
I.ric.offset.HabGlob.HINTOL	-	-	-	-0.413	-	-	-	-0.208
I.ric.offset.HabRepro.LIPAR	0.988	-0.223	-	0.828	-0.220	-	-	0.594
I.ric.offset.HabRepro.RHPAR	-	-	-	-0.392	-	-	-	-0.712
I.ric.offset.Repro.LITH	-	-	-	-	-	-	-	-0.135
I.ric.offset.Repro.OSTR	-	-0.842	-	-	-0.210	-	-	-
I.ric.offset.Troph.DETR	-0.401	0.082	-	-	0.089	-	-	-0.445

On peut remarquer ici un très grand nombre de réponses à l'indice de pressions synthétique de la zone à brème (PresclaBRE) ainsi qu'à des pressions relevant de la qualité de l'eau. Un nombre plus restreint de réponses concernent l'hydrologie, la navigation et la présence d'étang. Les résultats observés pour cette zone sont similaires à ceux de la version V.0.

## 7.3 Métriques retenues

### 7.3.1 Liste des métriques

Après sélection, on retient 10 métriques « fonctionnelles » :

- "l.abond.offset.EauO2.O2INTOL" ;
- "l.abond.offset.HabGlob.HINTOL" ;
- "l.abond.offset.HabRepro.RHPAR" ;
- "l.ric.brute.EauGeneral.TOL" ;
- "l.ric.brute.EauTemp.STTHER" ;
- "l.ric.brute.HabRepro.LIPAR" ;
- "l.ric.brute.Troph.OMNI" ;
- "l.ric.offset.EauGeneral.INTOL" ;
- "l.ric.offset.EauO2.O2INTOL" ;
- "l.ric.offset.Hab.LIMNO".

La même métrique peut présenter des sens et des intensités de réponse différentes selon les pressions et les zones de Huet considérées : réponses positive, négative, voir bilatérale. Pour la version V.1.1, la zonation des Huet n'est plus considérée lors de l'agrégation des métriques. Aussi, puisque l'ensemble des métriques s'applique à tous les types de cours d'eau quelque soit le sens de réponse, chaque métrique est traitée comme pouvant présenter une réponse bilatérale. Une transformation est alors effectuée afin que l'ensemble des métriques présente une réponse négative (décroissante) à un accroissement d'une ou de plusieurs pressions. Ceci permet d'éviter les comportements aberrants ou contradictoires des métriques d'une zone à l'autre.

Les graphiques permettant d'apprécier la qualité statistique des modèles sélectionnés sont présentés en annexe 7 (pour la version V.1.3 de l'indicateur)..

### 7.3.2 Paramètres des modèles

La liste des paramètres des variables relatives aux modèles des métriques sélectionnées sont contenues dans le tableau suivant.

*Tableau 83 – Liste des paramètres des modèles des métriques sélectionnées. Les variables dont le nom est précédé d'un "L" minuscule sont exprimées en logarithme népérien. Les variables qualitatives présentent n-1 modalités ; les premières modalités par ordre alphabétique (GEOL1c : formation géologique dominante calcaire ; REG3\_GVreg\_pf : régime hydrologique pluvial fort) ne sont donc pas mentionnés dans le tableau car elles présentent des paramètres nuls.*

Métrique	Intercept	IPOW	IPOW <sup>2</sup>	IBV_FINAL	IBV_FINAL <sup>2</sup>	TEMP_MEAN_STA_Y	TEMP_MEAN_STA_Y <sup>2</sup>	TEMP_AMPL_STA_Y	TEMP_AMPL_STA_Y <sup>2</sup>	GEOL1s	REG3_GVreg_pm	REG3_GVreg_pmg
abond.offset.EauO2.O2INTOL	-1.597	0.163		-0.005	-0.030							
abond.offset.HabGlob.HINTOL	8.510	-0.549	0.037	-0.262	-0.011	-0.084		-0.756	0.025	-0.210	0.285	0.049
abond.offset.HabRepro.RHPAR	-1.086	0.067		0.053	-0.017			0.023				
ric.brute.EauGeneral.TOL	3.943	-1.346	0.044	1.310	-0.059	0.069						
ric.brute.EauTemp.STTHER	2.073			0.327	-0.042	0.616	-0.032	-0.590	0.017			
ric.brute.HabRepro.LIPAR	3.972	-1.676	0.050	1.409	-0.047			0.108		-0.320		
ric.brute.Troph.OMNI	-5.183	-1.137	0.039	1.573	-0.086	0.873	-0.034	0.141				
ric.offset.EauGeneral.INTOL	-1.593	0.180		-0.271								
ric.offset.EauO2.O2INTOL	0.614	-0.401	0.028	0.087	-0.047	0.252	-0.015	-0.043				
ric.offset.Hab.LIMNO	-10.826	-1.651	0.051	1.713	-0.076			1.632	-0.049			

On peut remarquer que la surface du bassin versant amont (BV\_FINAL) intervient dans tous les modèles. La puissance hydraulique (POW) et l'amplitude thermique (TEMP\_AMPL\_STA\_Y) sont deux variables environnementales qui sont fréquemment retenues, puis vient la température moyenne

(TEMP\_MEAN\_STA\_Y). Les variables qualitatives sont peut retenues : seulement deux fois pour la géologie dominante sur le BV (GEOL1) et une fois pour le régime hydrologique (REG3\_GV).

On peut aussi noter qu'aucun paramètre thermique n'intervient ni dans le modèle de la métrique correspondant à l'abondance relative des espèces piscicoles intolérantes aux basses concentrations en dioxygène ("abond.offset.EauO2.O2INTOL"), ni dans celui correspondant à la richesse relative en espèces intolérantes à la qualité d'eau en général ("ric.offset.EauGeneral.INTOL").

## 7.4 Redressement des résidus

Les résidus standardisés des sites du bassin IPR Corse étant différents de ceux des autres bassins (BASS\_IPR), il convient d'en redresser leurs valeurs. Pour ce faire, pour chaque métrique, on retranche la valeur de la médiane des sites de « calibration » corses à la valeur de l'ensemble des sites de ce bassin.

## 7.5 Transformation des métriques en EQR

Les métriques sont transformées en EQR en tenant compte de la stratégie d'échantillonnage des opérations de pêche (STRATEG). La stratégie d'échantillonnage considérée distingue les pêches complètes des pêches partielles et toutes les transformations qui vont suivre seront effectuées en fonction de ces 2 classes.

Afin de palier au fait que le sens de réponse des métriques peut varier d'un type de cours d'eau à l'autre — il n'est en effet pas rare que le sens de réponse d'une métrique s'inverse sur le gradient amont-aval (ex : positif dans une zone à truite et négatif dans une zone à brème) —, il convient de transformer les métriques pour qu'elles puissent présenter une réponse bilatérale. Pour cela, les résidus sont tout d'abord exprimés en valeurs absolues. Par la suite, les valeurs excédant le quantile 95 % sont ramenées à cette dernière valeur. Puis les métriques sont rescalées entre 0 et 1.

La DCE demande à ce que les métriques soient exprimées en EQR. Pour ce faire, on divise les métriques par les médianes des sites de référence. Ces valeurs médianes étant inférieures à 1, les valeurs des métriques ne sont alors plus distribuées entre 0 et 1. On corrige cela en utilisant les valeurs maximales des sites ayant servis à établir l'indicateur (sites du jeu de « construction »). Pour plus de commodité, on modifie les valeurs à l'aide d'une transformation « piecewise » afin de fixer la médiane des sites de « référence » à 0,8 tout en conservant la distribution de l'ensemble des valeurs dans l'intervalle [0 ; 1].

## 7.6 Agrégation des métriques

Comme nous l'avons déjà dit, dans cette version de l'indice, la zonation de Huet n'est utilisée que lors de la sélection des métriques, mais elle est délaissée lors de l'agrégation de ces dernières. Ce choix se justifie par les résultats que nous avons observés lors de la tentative d'optimisation du découpage de la zonation de Huet fondée sur la construction d'ACP basées sur des abondances observées ou sur des probabilités de présence de 23 espèces (cf. § 2.2.2). Nous avons vu que la structure des peuplements est très variable d'une DiR à l'autre et que les chevauchements entre zones sont très importants et ne permettent malheureusement pas d'optimiser la classification de Huet. Le fait que la structure du peuplement varie d'une région à l'autre et qu'il paraisse impossible d'utiliser la typologie sans recourir à l'expertise pour corriger les erreurs, rendent non opératoire l'utilisation de la zonation lors de l'agrégation des métriques.

Les métriques exprimées en EQR sont ensuite agrégées pour produire l'indicateur en tant que tel. Pour ce faire, pour chaque opération de pêche, on calcule d'une part, la moyenne des 2 métriques d'abondance les plus basses (parmi les 3 calculées) et, d'autre part, la moyenne des 4 métriques de richesse les plus basses (parmi les 7 calculées). L'IPR+ correspond à la moyenne de ces 2 valeurs. Cette méthode d'agglomération des métriques donne un poids égal aux métriques de richesse et aux métriques d'abondance. Par ce procédé, on évite que les métriques basées sur la richesse soient surreprésentées, ce qui était le cas dans la version V.0 de l'IPR+, en particulier dans la zone à ombre.

Par ailleurs, avec cette méthode, les 6 métriques « fonctionnelles » sélectionnées (sur les 10 possibles) varient donc d'une opération à l'autre. Cette sélection d'environ 2/3 de l'ensemble des métriques est justifiée par le fait que ces métriques « fonctionnelles » présentent, pour plusieurs d'entre elles, des réponses significatives uniquement à certaines pressions (par exemple altérations hydrologiques). En l'absence de ces pressions, elles tendent à surestimer la qualité du milieu (non détection des autres pressions présentes) et ne sont donc pas à intégrer dans l'indicateur. En outre, cette sélection d'un sous-ensemble de métriques (6 sur 10) est rendue nécessaire par l'absence de recours à la zonation. Dans la mesure où nous savons que certaines métriques ne sont sensibles que dans une zone particulière, il est prévisible qu'elles manqueront de sensibilité dans les autres zones et y donneront toujours un score élevé. En sélectionnant les 6 des 10 métriques présentant les scores les plus bas, on cherche ainsi à éviter ce problème et l'on optimise les chances de réponse de l'indice aux pressions anthropiques. À l'inverse, le nombre de métriques retenues a été choisi afin de parvenir au meilleur compromis entre un indicateur trop peu sensible et un indicateur trop dépendant de seulement une ou deux métriques à faible score.

L'indice est ensuite transformé en EQR par division des valeurs par la médiane des sites de « référence », puis rescalé entre 0 et 1 par la valeur maximale des sites de construction. Ici aussi, l'indice subit une transformation « piecewise » pour que les sites de « référence » présentent une médiane de 0,8 tout en conservant la distribution de l'ensemble des sites dans l'intervalle [0 ; 1].

Il est alors possible de transformer les valeurs quantitatives de l'indice en valeurs qualitatives. L'indice doit ainsi être distribué en 5 classes représentant la qualité écologique. Il faut toutefois noter que les bornes des classes « 1-très bon » et « 2-bon » doivent répondre à des exigences européennes. Il convient donc de comparer, à l'échelle européenne, les résultats de l'IPR+ avec d'autres indicateurs.

## 7.7 Harmonisation européenne des limites de classes

### 7.7.1 Établissement provisoires des limites de classes

Avant harmonisation européenne, des bornes provisoires sont établies en se basant sur la régression entre les valeurs de l'IPR et de l'IPR+ (en utilisant les sites de la base de données IPR+).

Le coefficient de corrélation entre les valeurs de l'IPR+ version V.1.1 et du précédent IPR (bornées à 47) est de 0,516.

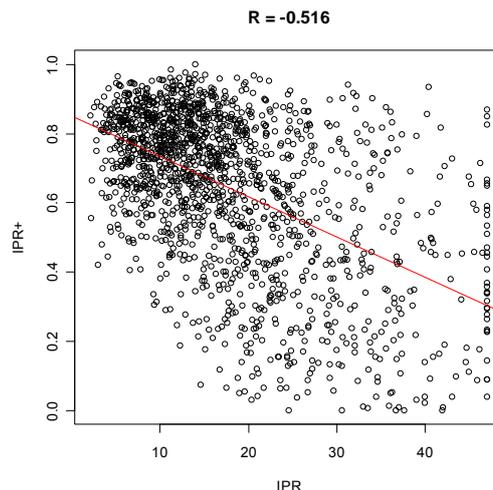


Figure 55 – Régression entre les valeurs de l'IPR+V.1.1 et les valeurs de l'IPR pour les sites de la base de données de l'IPR+.

Les coefficients de la régression entre l'IPR+ et l'IPR permettent d'exprimer les limites des 2 classes écologiques supérieures de l'IPR (valeur de 7, 16) dans l'échelle de l'IPR+. Arbitrairement, les bornes

entre les classes « moyenne », « médiocre » et « mauvaise » sont choisies de sorte à ce que ces 3 classes soient d'amplitudes égales. On obtient le tableau de limites de classes suivant :

*Tableau 84 – Limites des classes provisoires de l'IPR+ V.1.1 rendant compte de l'état écologique avant intercalibration.*

État écologique	Borne
1-Très bon	]0.770 ; 1.000]
2-Bon	]0.660 ; 0.770]
3-Moyen	]0.440 ; 0.660]
4-Médiocre	]0.220 ; 0.440]
5-Mauvais	]0.000 ; 0.220]

Par la suite, nous avons appliqué l'exercice européen d'intercalibration à l'IPR+ pour harmoniser les bornes de l'indice.

Il faut noter que seuls les sites français de la base de données de l'exercice d'intercalibration appartenant au groupe « Lowland-Midland » sont, pour l'instant, utilisés pour harmoniser l'IPR+. La méthode d'intercalibration utilisée par le groupe « Lowland-Midland » ne nécessite de calculer l'IPR+ que sur les sites français, ce qui ne pose donc aucun soucis. Comme lors de l'harmonisation de l'IPR les stations françaises harmonisées dans le groupe « Lowland-Midland » contiennent en réalité les sites « Lowland-Midland » et « Mediterranean ». Pour le moment, il n'est pas possible d'harmoniser l'IPR+ au sein du groupe « Alpine » car la méthode utilisée au sein de ce groupe nécessite de calculer le nouvel indicateur français sur les sites des autres pays de ce groupe (Allemagne, Autriche et Slovaquie) avec tout ce que cela implique en termes de temps de travail pour nos collègues européens.

Pour effectuer l'exercice d'harmonisation, nous avons dû calculer les précipitations annuelles sur le bassin versant (TEMP\_MEAN\_BV\_Y) ainsi que les variables de températures (TEMP\_MEAN\_STA\_Y et TEMP\_AMPL\_STA\_Y) et ce pour tous les sites français de l'intercalibration.

Dans cet exercice, les méthodes du groupe régional sont exprimées en EQR, puis subissent une transformation « piecwise » pour que les bornes des classes de qualités soient égales. Les méthodes nationales sont ensuite régressées en fonction des métriques communes afin d'être comparées dans une même échelle. Pour que le nouvel indice poisson français soit harmonisée, les intervalles de confiance des bornes « très bon »/« bon » (H\_G) et « bon »/« moyen » (G\_M) de l'IPR+ (FR\_IPRplus\_index dans les représentations graphiques et les tableaux) doivent chevaucher la médiane des méthodes nationales du groupe régional. Pour plus de détails concernant la méthode d'harmonisation, il convient de se référer à l'annexe V (Willby, Birk & Bonne, 2010) du guide d'utilisation de l'exercice d'intercalibration européen (Worging Group Ecostat, 2009). Dans le calcul de la médiane du groupe régional, l'IPR+ n'entre pas en compte car il pourrait éventuellement la modifier. Ici ce sont les indices ayant participé à l'exercice d'intercalibration qui rentrent en compte. C'est donc l'IPR et non l'IPR+ qui a pesé dans le calcul de la médiane du groupe (Pont *et al.*, 2011).

## 7.7.2 Vérification des conditions d'harmonisation européenne

Avant toute modification des bornes de l'IPR+, il convient tout d'abord de vérifier que ce dernier respecte bien les conditions de la méthode d'harmonisation. Pour être comparées, les méthodes nationales sont exprimées en métriques communes. Les relations entre les indicateurs et les métriques communes sont présentées ci-après.

*Tableau 85 – Résumé de la régression linéaire pour 5 méthodes du groupe d'intercalibration « Lowland-Midland » contre les métriques communes avant modification des bornes.*

Méthode	Pente	R	R <sup>2</sup>
BW_IBIP_index	0.897	0.733	0.538
DE_FIBs_index	0.908	0.568	0.323
FR_IPRplus_index	0.797	0.595	0.354
LT_LFI_index	1.259	0.838	0.704
NL_index	1.248	0.656	0.431

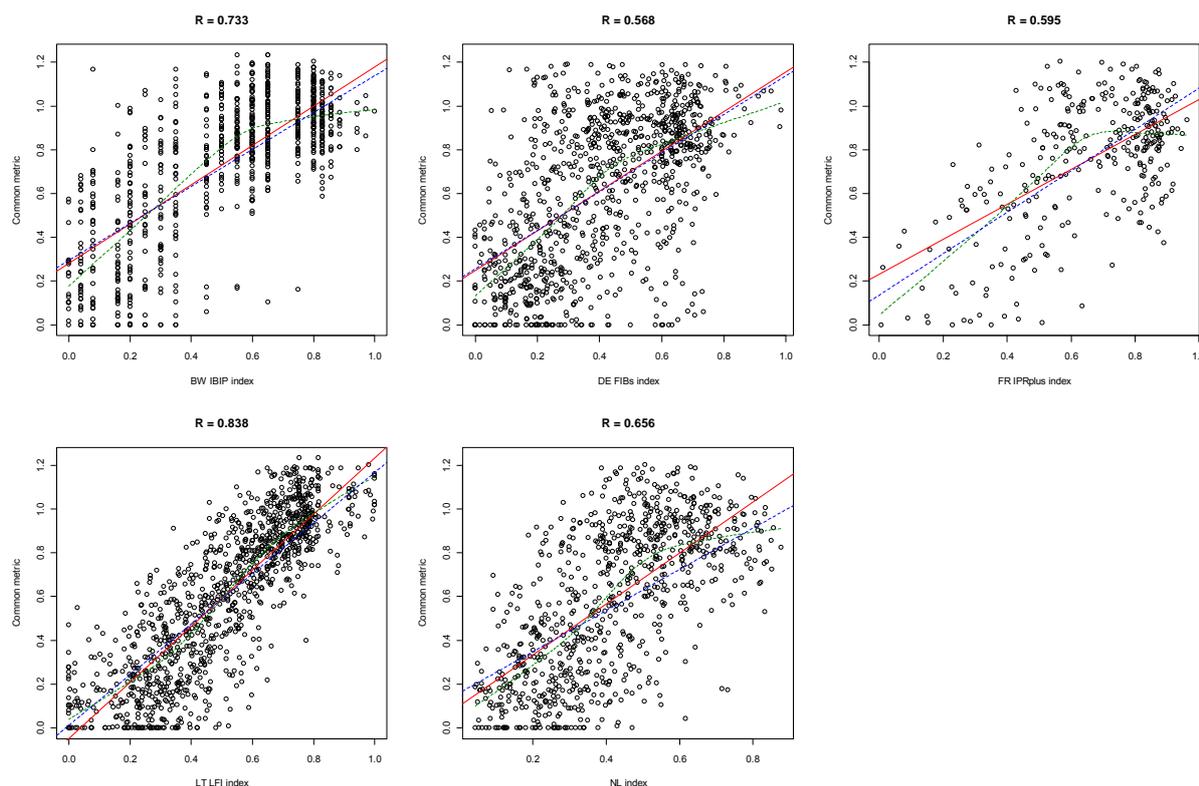


Figure 56 – Régression linéaire classique (en rouge) et les valeurs de corrélation associés, lissage Lowess (en vert) et régression linéaire pondérée (en bleu) pour 5 méthodes du groupe d'intercalibration « Lowland-Midland » contre les métriques communes avant modification des bornes de l'IPR+.

Pour respecter les conditions d'harmonisation, les méthodes doivent présenter une corrélation supérieure à 0,5 avec les métriques communes, ainsi qu'une pente significativement différente de zéro et comprise entre 0,5 et 1,5.

Les conditions d'harmonisation européennes étant remplies, il est donc possible d'effectuer l'harmonisation à l'échelle européenne des bornes des deux plus hautes classes de qualité de l'IPR+.

### 7.7.3 Évaluation de l'accord entre l'IPR+ et les méthodes nationales

On compare ici les bornes H\_G et G\_M de l'IPR+, exprimées en métriques communes, avec les médianes des limites de classes des indices du groupe « Lowland-Midland ». Ceci permet de savoir si les nouvelles bornes françaises sont correctement définies pour rendre compte d'une évaluation écologique comparable à celles des autres méthodes nationales européennes.

Tableau 86 – Valeurs brutes (raw) et valeurs prédites (fit) des bornes H\_G et G\_M avant modification des bornes (et les valeurs de leurs intervalles de confiance associés : inférieure (lwr) et supérieure (upr) qui correspondent à un quart de classe, exprimés en métriques communes).

Méthode	H_G_raw	G_M_raw	H_G_fit	H_G_lwr	H_G_upr	G_M_fit	G_M_lwr	G_M_upr
BW_IBIP_index	23.000	19.000	0.999	0.954	1.044	0.820	0.775	0.865
DE_FIBs_index	3.750	2.500	0.973	0.928	1.019	0.792	0.746	0.837
FR_IPRplus_index	<b>0.770</b>	<b>0.660</b>	<b>0.869</b>	<b>0.829</b>	<b>0.908</b>	<b>0.709</b>	<b>0.669</b>	<b>0.749</b>
LT_LFI_index	0.940	0.720	0.977	0.913	1.041	0.721	0.657	0.785
NL_index	0.760	0.570	1.032	0.973	1.090	0.798	0.740	0.857
Moyenne	-	-	0.984	-	-	0.781	-	-
Médiane	-	-	<b>0.977</b>	-	-	<b>0.792</b>	-	-

On constate que les intervalles de confiance des bornes H\_G et G\_M de l'IPR+ ne chevauchent pas la médiane des méthodes nationales du groupe régional. Les limites de classes de l'IPR+ sont trop

basses par rapport aux autres méthodes européennes. Il convient donc d'effectuer des modifications afin que les intervalles de confiances des bornes de l'IPR+ recouvrent les médianes du groupe d'intercalibration.

#### 7.7.4 Modifications des bornes des classes de qualité

On tente de positionner les bornes H\_G et G\_M de l'IPR+ sur la médiane du groupe « Lowland-Midland ». Les bornes entre les classes « moyenne », « médiocre » et « mauvaise » sont choisies de sorte à ce que ces 3 classes soient d'amplitudes égales. Après modification des bornes, on vérifie une nouvelle fois que l'IPR+ respecte bien les conditions de la méthode d'harmonisation européenne. En effet, la transformation des bornes peut affecter la distribution des valeurs de l'indice et, par la même, affecter la régression avec les métriques communes.

Tableau 87 – Résumé de la régression linéaire pour 5 méthodes du groupe d'intercalibration « Lowland-Midland » contre les métriques communes après modification des bornes.

Méthode	Pente	R	R <sup>2</sup>
BW_IBIP_index	0.897	0.733	0.538
DE_FIBs_index	0.908	0.568	0.323
FR_IPRplus_index	0.937	0.583	0.340
LT_LFI_index	1.259	0.838	0.704
NL_index	1.248	0.656	0.431

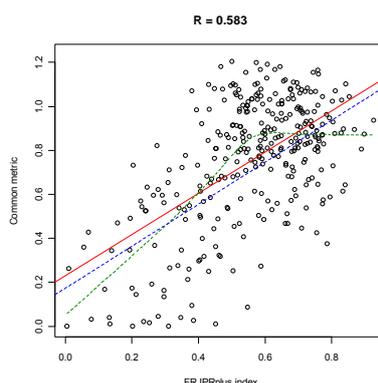


Figure 57 – Régression linéaire classique (en rouge) et les valeurs de corrélation associés, lissage Lowess (en vert) et régression linéaire pondérée (en bleu) pour l'IPR+ au sein du groupe d'intercalibration « Lowland-Midland » contre les métriques communes après modification des bornes.

Les conditions d'harmonisation européennes sont une nouvelle fois remplies. Si les modifications sont suffisantes pour que les bornes de l'IPR+ soient comparables aux autres indices européens, ces dernières seront valides.

Tableau 88 – Valeurs brutes (raw) et valeurs prédites (fit) des bornes H\_G et G\_M après modification des bornes (et les valeurs de leurs intervalles de confiance associés : inférieure (lwr) et supérieure (upr) qui correspondent à un quart de classe, exprimés en métriques communes).

Méthode	H_G raw	G_M raw	H_G fit	H_G lwr	H_G upr	G_M fit	G_M lwr	G_M upr
BW_IBIP_index	23.000	19.000	0.999	0.954	1.044	0.820	0.775	0.865
DE_FIBs_index	3.750	2.500	0.973	0.928	1.019	0.792	0.746	0.837
FR_IPRplus_index	<b>0.885</b>	<b>0.745</b>	<b>0.979</b>	<b>0.933</b>	<b>1.026</b>	<b>0.792</b>	<b>0.745</b>	<b>0.839</b>
LT_LFI_index	0.940	0.720	0.977	0.913	1.041	0.721	0.657	0.785
NL_index	0.760	0.570	1.032	0.973	1.090	0.798	0.740	0.857
Moyenne	-	-	0.984	-	-	0.781	-	-
Médiane	-	-	<b>0.977</b>	-	-	<b>0.792</b>	-	-

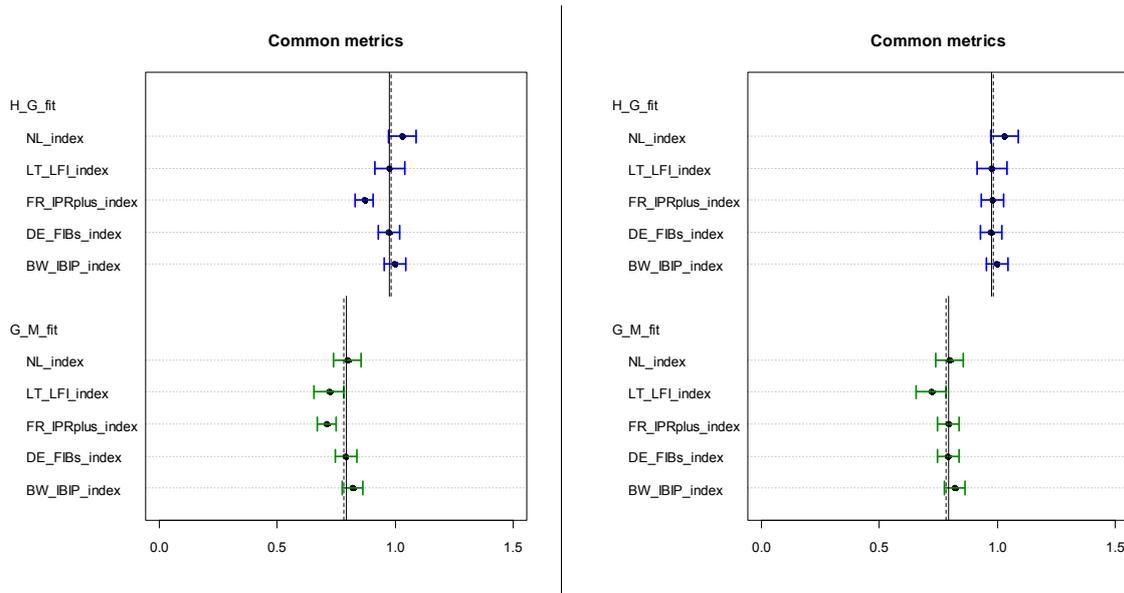


Figure 58 – Graphiques des valeurs prédites des bornes H\_G (en bleu) et G\_M (en vert) et leurs intervalles de confiance respectifs ( $\pm$  un quart de classe) exprimés en métriques communes pour 5 méthodes du groupe d'intercalibration « Lowland-Midland », avant (à gauche) et après (à droite) harmonisation (ligne discontinue : moyenne et ligne continue : médiane).

Après modification des bornes, les intervalles de confiance de l'IPR+ chevauchent bien les médianes du groupe « Lowland-Midland ». Les nouvelles limites de classes de qualité de l'IPR+ sont donc conformes aux exigences de l'intercalibration européenne. Les anciennes et les nouvelles valeurs de bornes des deux plus hautes classes de qualité sont mentionnées dans le tableau ci-après.

Tableau 89 – Bornes High-Good et Good-Moderate avant et après harmonisation.

Méthode	H_G avant	G_M avant	H_G après	G_M après
BW_IBIP_index	23.000	19.000	23.000	19.000
DE_FIBs_index	3.750	2.500	3.750	2.500
FR_IPRplus_index	<b>0.770</b>	<b>0.660</b>	<b>0.885</b>	<b>0.745</b>
LT_LFI_index	0.931	0.710	0.940	0.720
NL_index	0.800	0.600	0.760	0.570

### 7.7.5 Établissement des limites de classes suite à l'harmonisation européenne

Pour les bornes entre les classes 1-2 et 2-3, nous avons effectué l'intercalibration en cherchant à définir la plage de valeurs des bornes acceptables du point de vue de ces normes européennes. Nous proposons, ci-dessous, 3 gammes de bornes pour les 5 classes de l'IPR+ V.1.1 :

- la première retient, pour la limite de classes 1-2, la valeur la plus basse possible par rapport à l'intervalle d'intercalibration européen (Bornes min.) ;
- la deuxième correspond au choix de la valeur médiane (cf. *supra*) de l'intervalle d'intercalibration, c'est-à-dire une position optimale en termes de comparabilité par rapport aux autres méthodes utilisées en Europe (Bornes med.) ;
- la troisième retient, pour la limite de classes 1-2, la valeur la plus haute possible par rapport à l'intervalle d'intercalibration européen (Bornes max.).

À la différence des bornes délimitant les classes 1 et 2, la définition des bornes relatives aux classes 4 et 5 n'est pas soumise aux impératifs de l'intercalibration. Dans notre cas, nous avons opté pour des bornes permettant aux classes 3, 4 et 5 d'avoir des amplitudes égales.

*Tableau 90 – Limites des classes de l'IPR+ V.1.1 rendant compte de l'état écologique après intercalibration. Bornes min. : limites de classes en cherchant à situer la limite de classe 1-2 la plus basse possible. Bornes med. : limites de classe 1-2 à la médiane de l'intervalle d'intercalibration. Bornes max. : limites de classes en cherchant à situer la limite de classe 1-2 la plus haute possible.*

<b>État écologique</b>	<b>Bornes min.</b>	<b>Bornes med.</b>	<b>Bornes max.</b>
1-Très bon	]0.855 ; 1.000]	]0.885 ; 1.000]	]0.885 ; 1.000]
2-Bon	]0.680 ; 0.855]	]0.745 ; 0.885]	]0.810 ; 0.885]
3-Moyen	]0.453 ; 0.680]	]0.497 ; 0.745]	]0.540 ; 0.810]
4-Médiocre	]0.227 ; 0.453]	]0.248 ; 0.497]	]0.270 ; 0.540]
5-Mauvais	]0.000 ; 0.227]	]0.000 ; 0.248]	]0.000 ; 0.270]

## 8 Version V.1.2 de l'indice

La modification principale qui fait différer la version V.1.2 de la version V.1.1 précédemment décrite réside en l'adjonction d'une métrique « classe de tailles » portant sur les juvéniles de truites.

### 8.1 Métrique « classe de tailles fonctionnelles »

Avant de nous intéresser à une métrique « classe de tailles » portant sur une seule espèce, à savoir la truite, nous avons tenté de modéliser des métriques « classe de tailles » basées sur les guildes fonctionnelles.

Pour ce faire, comme dans le cas des différentes métriques « fonctionnelles », les guildes ont été testées selon 6 points de vue différents :

- richesse brute (nombre d'espèces de la guildes présente dans l'échantillon) ;
- richesse relative (procédure de type « offset ») ;
- densité (nombre d'individus par 100 m<sup>2</sup>) ;
- abondance relative (procédure de type « offset ») ;
- biomasse (en kg/ha) ;
- biomasse relative (procédure de type « offset »).

Pour chaque point de vue, nous avons considéré d'une part les grands individus (> 150 mm) et d'autre part les petits individus ( $\leq$  150 mm).

Au sein des guildes fonctionnelles, nous n'avons pas pris en compte toutes les espèces ; nous n'avons considéré que les espèces de grande taille, c'est-à-dire celles présentant une taille maximale supérieure ou égale à 300 mm (cf. Tableau 21).

Par ailleurs, il faut noter que plusieurs tests préliminaires ont été réalisés avant de définir un seuil de taille à 150 mm discriminant les petits et les grands individus. Nous avons étudié la possibilité de fixer le seuil à 100, 150 ou 200 mm).

Au total, 444 métriques (37 guildes selon 6 points de vue et 2 classes de tailles) ont donc été testées. Cependant aucun modèle ne présente une qualité statistique minimale suffisante et aucune de ces métriques n'a été retenue.

### 8.2 Métrique « classe de tailles truite »

#### 8.2.1 Sites de « référence » et de « calibration »

Afin de sélectionner une métrique « classe de tailles truite », on considère les juvéniles de l'année (0+) de truites (TRF0plus). Pour ce faire, on modélise les densités, les abondances et les biomasses de 0+.

Le jeu de « calibration » utilisé pour la modélisation des métriques « classe de tailles truites » correspondent à une sous-sélection des sites de « calibration » de modélisation des métriques « fonctionnelles » pour lesquels les opérations de pêches se sont déroulées en automne (entre août et novembre) et présentent des effectifs pêchés de plus de 30 truites (toutes classes d'âge confondues et pas seulement les 0+).

Le jeu de données de « référence » des métriques « truite », qui servira à la transformation des métriques et de l'indice en EQR, est construit de la même manière ; il correspond aux opérations de « référence » des métriques « fonctionnelles » effectuées durant l'automne présentant plus de 30 truites.

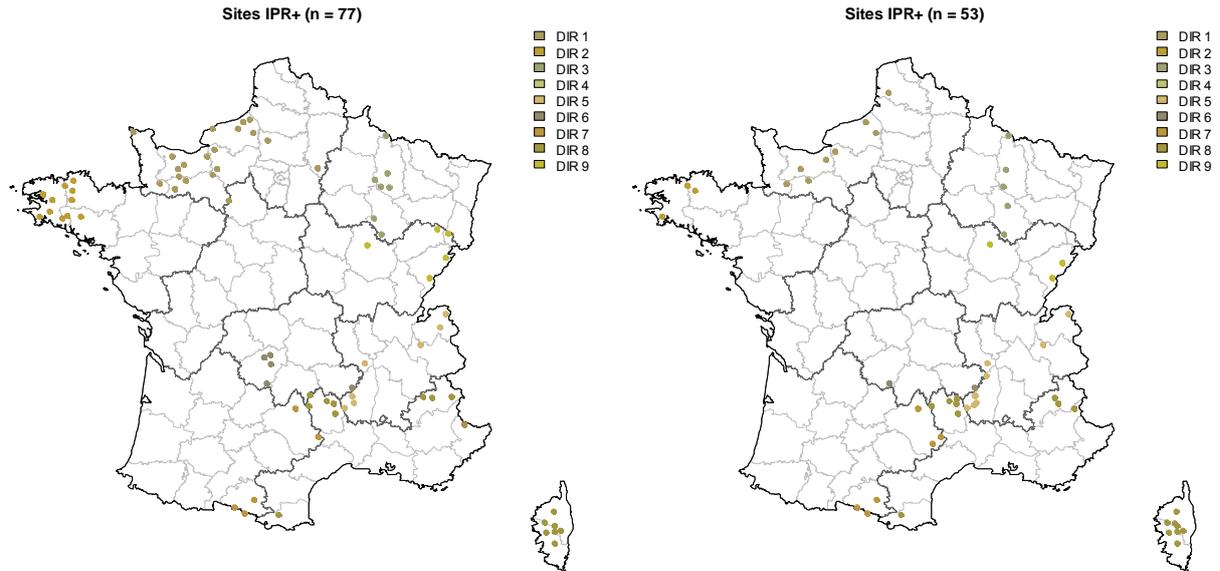


Figure 59 – Distribution spatiale des stations de « calibration » (à gauche) et de « référence » (à droite) de la base de données IPR+ servant à la modélisation des métriques « classe de tailles truites ».

## 8.2.2 Métriques candidates

Au total, 6 métriques ont été modélisée de la même manière que les métriques « fonctionnelles », c'est-à-dire par l'utilisation de GLM construits avec les mêmes 6 variables environnementales. Ces métriques sont les suivantes :

- "l.truite.dens.brute" : densité (nombre d'individus par 100 m<sup>2</sup>) ;
- "l.truite.abond.offset.total" : abondance relative (avec le logarithme de l'effectif total de la pêche en « offset ») ;
- "l.truite.abond.offset.truite" : abondance relative (avec le logarithme de l'effectif total de truites en « offset ») ;
- "l.truite.biom.brute" : biomasse (en kg/ha) ;
- "l.truite.biom.offset.total" : biomasse relative (avec le logarithme de la biomasse totale de la pêche en « offset ») ;
- "l.truite.biom.offset.truite" : biomasse relative (avec le logarithme de la biomasse totale de truites en « offset »).

## 8.2.3 Sélection de la métrique

Comme pour les métriques « fonctionnelles » (cf. *supra*), le diagnostic des modèles est fondé sur l'analyse de la normalité et de la structure des résidus, de l'effet levier (pour détecter les points influents), des relations entre valeurs observées et prédites, de la stabilité de la RMSE obtenue par bootstrap (Davidson & Hinkley, 1997) et la sélection de la métrique se fait par l'étude des réponses aux pressions individuelles.

## 8.2.4 Métrique retenue et paramètres du modèle

Après ce processus de sélection, la métrique finalement retenue est celle relative à l'abondance relative à la taille de l'échantillon : "l.truite.abond.offset.total".

Le graphique permettant d'apprécier la qualité statistique du modèle sélectionné est présenté en annexe 7.

La liste des paramètres des variables du modèle de la métrique "l.truite.abond.offset.total" est contenue dans le tableau suivant.

Tableau 91 – Liste des paramètres du modèle de la métrique sélectionnée. Les variables dont le nom est précédé d'un "L" minuscule sont exprimées en logarithme. Les variables qualitatives présentent n-1 modalités ; les premières modalités par ordre alphabétique (GEOL1c : formation géologique dominante calcaire ; REG3\_GVreg\_pf : régime hydrologique pluvial fort) ne sont donc pas mentionnés dans le tableau car elles présentent des paramètres nuls.

Métrique	Intercept	IPOW	IPOW <sup>2</sup>	IBV_FINAL	IBV_FINAL <sup>2</sup>	TEMP_MEAN_STA_Y	TEMP_MEAN_STA_Y <sup>2</sup>	TEMP_AMPL_STA_Y	TEMP_AMPL_STA_Y <sup>2</sup>	GEOL1s	REG3_GVreg_pfm	REG3_GVreg_png
truite.abond.offset.total	-9.269	0.426		1.023	-0.211				0.158			

Seules 3 variable entrent en jeu dans le modèle, la puissance hydraulique (POW), la surface du bassin versant amont (BV\_FINAL) et l'amplitude thermique (TEMP\_AMPL\_STA\_Y).

### 8.3 Agrégation des métriques

Le processus d'agrégation des métriques est similaire à celui décrit pour la version V.1.1. La métrique « classe de tailles truite » est traitée de la même manière que les métriques « fonctionnelles » d'abondance. Aussi, pour chaque opération de pêche, on calcule d'une part, la moyenne des 2 métriques d'abondance plus basses (parmi les 4 calculées : 3 « fonctionnelles » et 1 « truite ») et, d'autre part, la moyenne des 4 métriques de richesse les plus basses (parmi les 7 calculées). Ensuite, pour obtenir l'IPR+ version V.1.2, on fait la moyenne de ces 2 valeurs. L'indice est enfin transformé en EQR.

Il faut toutefois noter que si la métrique « truite » est calculée pour l'ensemble des stations, elle n'entre en compte dans le calcul d'indice que pour les pêches d'automne (août à novembre) des zones à ombre et à truite (HUET54). Pour les stations en zone à brème et à barbeau et pour les pêches effectuées en dehors de l'automne, seules les métriques « fonctionnelles » basées sur la communauté sont prises en compte pour le calcul de l'IPR+ (dans ces situations la valeur de l'IPR+ correspond exactement à la version V.1.1).

Les valeurs de limites de classes de qualité de la version V.1.2 sont fixées par défaut au même niveau que celles de la version V.1.1. Pour le moment, en l'absence de données de tailles pour le jeu de données d'intercalibration, les bornes de cette version de l'indicateur ne sont pas harmonisées à l'échelle européenne. Au vu des résultats similaires entre les deux versions V.1.1 et V.1.2 de l'IPR+, il est vraisemblable que, lorsque l'exercice d'intercalibration sera réalisé avec la version V.1.2, les limites de classes définies avec la V.1.1 ne seront que peu affectées par l'intercalibration.

Le lecteur est renvoyé au § 7.6 relatif à la version V.1.1 de l'indicateur pour la justification de la procédure.

Ci-dessous, voici un exemple de l'agrégation des métriques pour 4 opérations de pêches. On agrège, d'une part les 2 métriques d'abondance et, d'autre part, les 4 métriques de richesse. On constate que la métrique « classe de tailles truite » ne rentre pas en compte pour les opérations effectuée dans les zones à brème et à barbeau.

Tableau 92 – Exemple d'agrégation des métriques en fonction de la zonation pour 4 opérations de pêches (en gris : les valeurs des métriques sélectionnées).

Métrique	Truite	Barbeau	Truite	Brème
EQR.truite.abond.offset.total	0.084		0.499	
EQR.abond.offset.EauO2.O2INTOL	0.269	0.166	0.456	0.078
EQR.abond.offset.HabGlob.HINTOL	0.489	0.650	0.369	0.439
EQR.abond.offset.HabRepro.RHPAR	0.326	0.536	0.455	0.526
EQR.ric.brute.EauGeneral.TOL	0.519	0.435	0.192	0.380
EQR.ric.brute.EauTemp.STTHER	0.396	0.634	0.005	0.684
EQR.ric.brute.HabRepro.LIPAR	0.419	0.407	0.653	0.248
EQR.ric.brute.Troph.OMNI	0.319	0.432	0.399	0.056
EQR.ric.offset.EauGeneral.INTOL	0.308	0.162	0.396	0.406
EQR.ric.offset.EauO2.O2INTOL	0.447	0.437	0.313	0.469
EQR.ric.offset.Hab.LIMNO	0.810	0.712	0.317	0.483

## 8.4 Réponses aux pressions

### Réponses aux indices de pressions synthétiques spécifiques

Lorsque l'on s'intéresse à la réponse de l'IPR+ aux 4 indices de pressions spécifiques dans les 4 zones de Huet (cf. figures ci-après), une nouvelles fois, nous constatons que c'est pour la zone à ombre qu'il est le plus difficile d'observer une réponse forte.

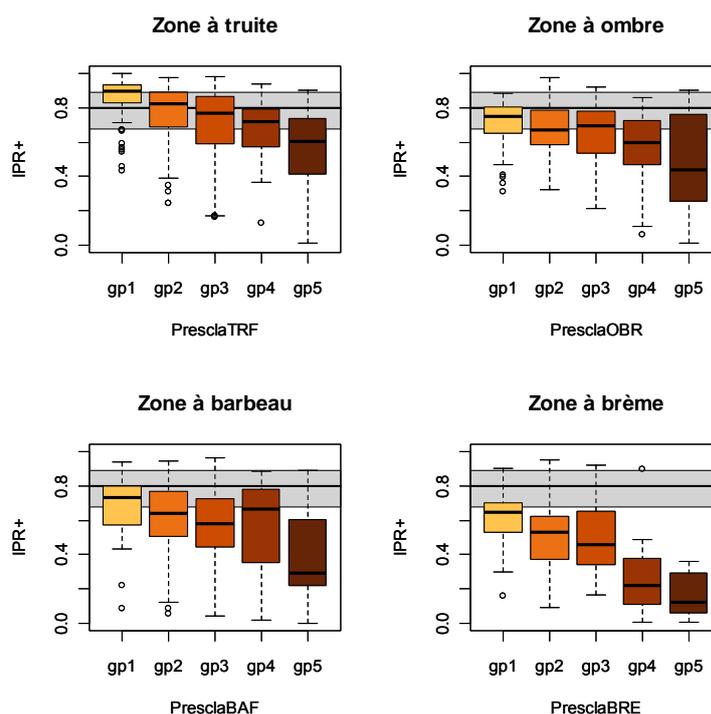


Figure 60 – Réponses de l'IPR+ V.1.2 aux 4 indices de pressions spécifiques définis par zone de Huet. La gamme de valeurs de l'IPR+ colorées en gris représente l'interquartile (25 %-75 %) et la médiane des valeurs de l'ensemble des sites dits de « référence ». L'intensité de la réponse de l'indicateur est à apprécier en termes d'écart par rapport à cet intervalle.

Nous pouvons aussi remarquer que les réponses aux pressions de l'IPR V.1.2 sont un peu plus faibles que celles constatées pour la version V.0. Ceci peut sans doute être en parti expliqué par le fait que lorsque l'on cherche à supprimer les effets dus aux espèces rares, il arrive que l'on supprime également des espèces qui signalent réellement une dégradation du cours d'eau. C'est sans doute le cas dans les zones les plus aval où l'on peut trouver de nombreuses espèces marquant une

dégradation du milieu, mais restant peu abondantes. Dans ce cas, la non prise en compte de ces espèces rares peut faire chuter la richesse spécifique et donner un résultat trop optimiste de la qualité de la masse d'eau.

Dans les zones amont le risque d'engendrer un tel biais est nettement plus faible étant donné que ces milieux présentent naturellement des richesses faibles. La baisse de réponse observée peut également être en partie due au fait que l'IPR+ V.1.2 est généraliste et s'applique de la même manière à toutes les zones alors que dans la version précédente les métriques étaient affectées à un type de cours d'eau données et ne pouvaient pas intervenir sur l'ensemble du gradient longitudinal. Par ailleurs, le fait que toutes les métriques soient traitées comme si elles présentaient des réponses bilatérales peut avoir aussi pour effet d'affaiblir l'intensité des réponses.

Sur le graphique de réponses aux indices de pressions par zone de Huet, on remarque que les sites appartenant aux groupes gp1 présentent des notes plus élevées en zone à truite qu'en zone à ombre et ainsi de suite jusqu'à la zone à brème. Ceci s'explique par le fait, qu'en moyenne, un site classé dans le groupe gp5 en zone à truite présente des pressions moins fortes qu'un site classé gp5 en zone à brème du fait même de la construction de ces indices par transformation qualitative du premier axe de l'ACM. De même, le fait d'obtenir une note plus faible pour un site de classe de pression 1 en zone à brème par rapport à la zone à truite est cohérent avec le caractère multi-impacté des sites à l'aval et l'absence dans la zone à brème de situation réellement de « référence ».

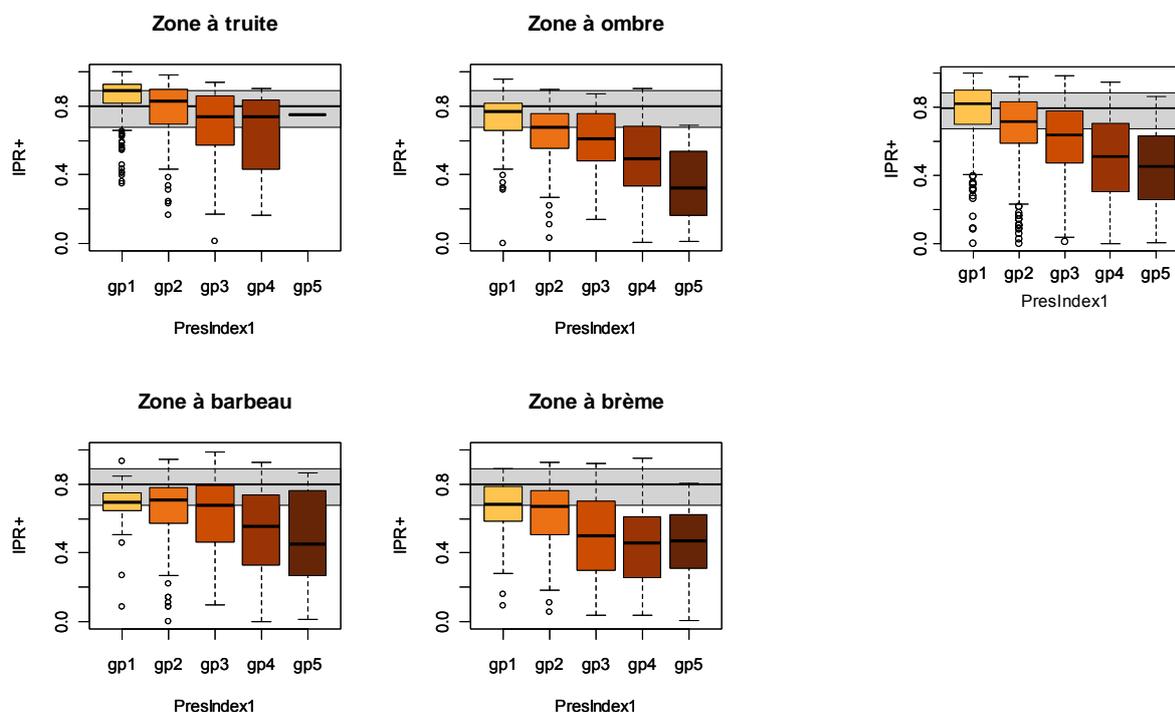


Figure 61 – Réponses de l'IPR+ V.1.2 à l'indice de pressions général n° 1 par zone de Huet (à gauche) ou toutes zones (à droite). La gamme de valeurs de l'IPR+ colorées en gris représente l'interquartile (25 %-75 %) et la médiane des valeurs de l'ensemble des sites dits de « référence ». L'intensité de la réponse de l'indicateur est à apprécier en termes d'écart par rapport à cet intervalle.

### Réponses aux pressions individuelles

Concernant les réponses de l'IPR+ V.1.2 aux pressions individuelles, on constate aussi une légère baisse de l'intensité de la réponse par rapport à la version V.0 pour les raisons déjà évoquées (cf. *supra*). Cependant, les réponses sont très régulières et homogènes d'une pression à l'autre et d'une zone à l'autre, alors que ce n'était pas toujours le cas pour la version V.0 de l'IPR+ où les réponses pouvaient parfois paraître un peu erratiques selon les pressions les types de cours d'eau considérés.

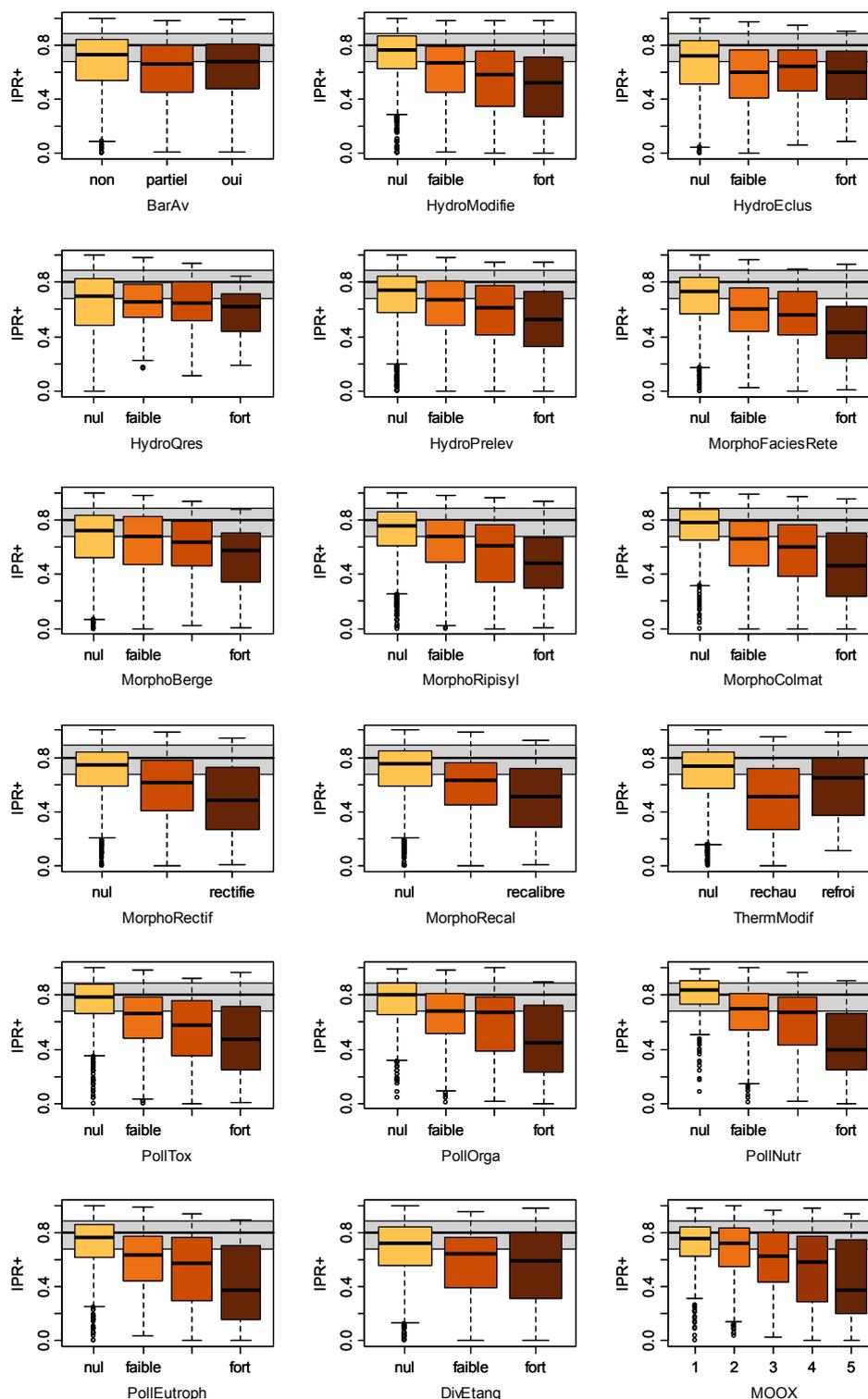


Figure 62 – Réponses de l'IPR+ V.1.2 aux pressions individuelles toute zones de Huet confondues. La gamme de valeurs de l'IPR+ colorées en gris représente l'interquartile (25 %-75 %) et la médiane des valeurs des sites dits de « référence ». L'intensité de la réponse de l'indicateur est à apprécier en termes d'écart par rapport à cet intervalle.

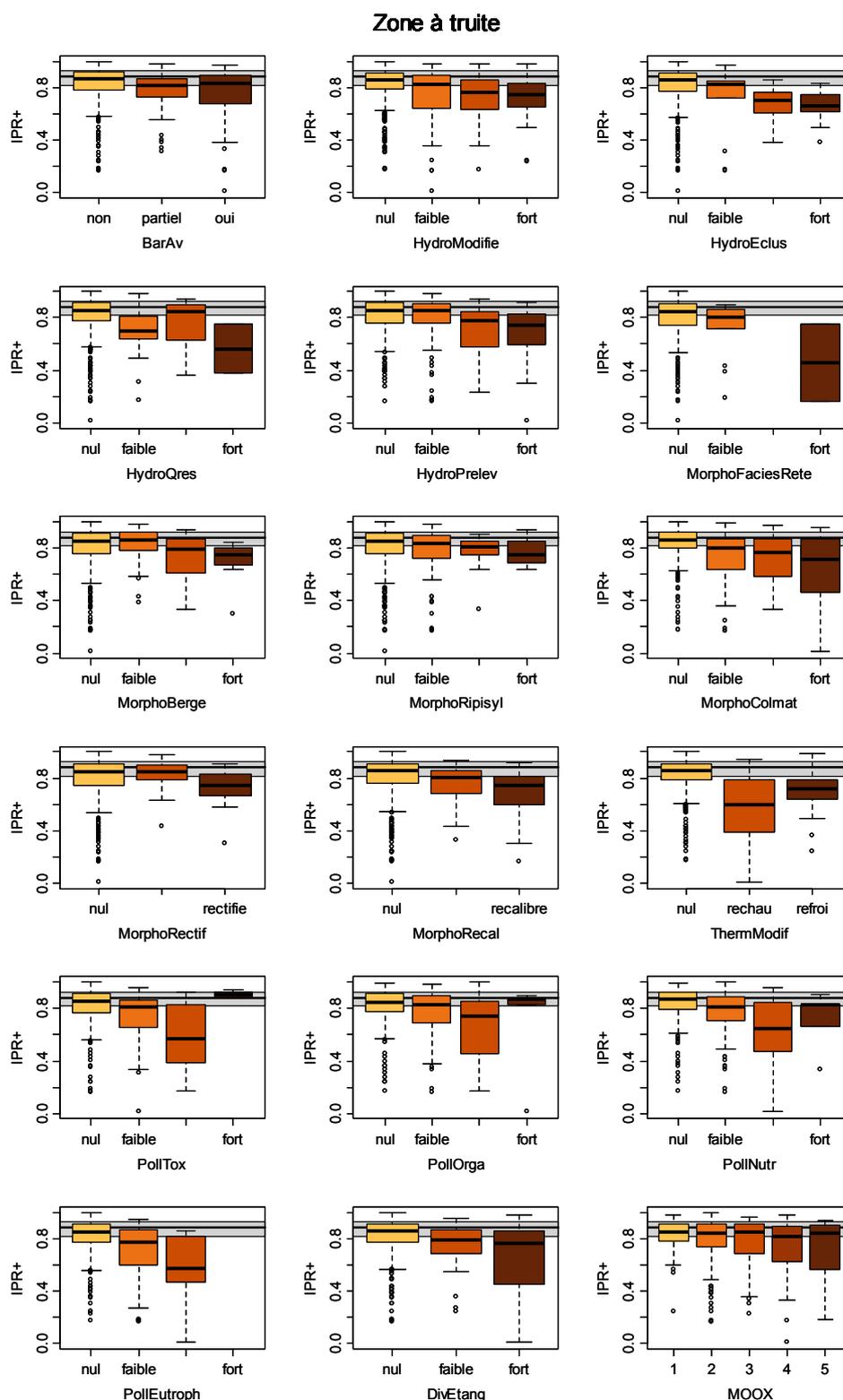


Figure 63 – Réponses de l'IPR+ V.1.2 aux pressions individuelles pour la zone à truite. La gamme de valeurs de l'IPR+ colorées en gris représente l'interquartile (25 %-75 %) et la médiane des valeurs des sites dits de « référence ». L'intensité de la réponse de l'indicateur est à apprécier en termes d'écart par rapport à cet intervalle.

### Zone à ombre

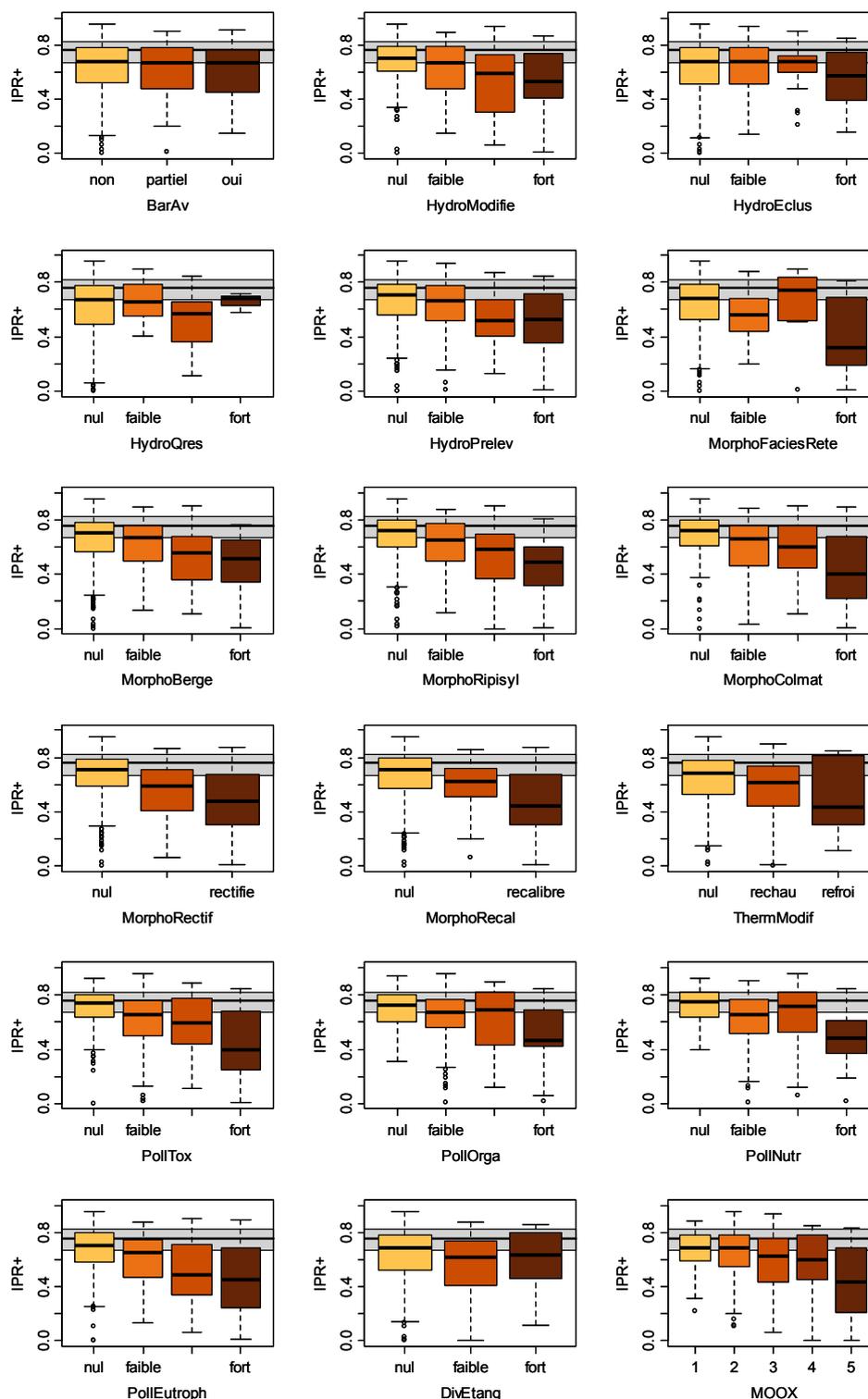


Figure 64 – Réponses de l'IPR+ V.1.2 aux pressions individuelles pour la zone à ombre. La gamme de valeurs de l'IPR+ colorées en gris représente l'interquartile (25 %-75 %) et la médiane des valeurs des sites dits de « référence ». L'intensité de la réponse de l'indicateur est à apprécier en termes d'écart par rapport à cet intervalle.

### Zone à barbeau

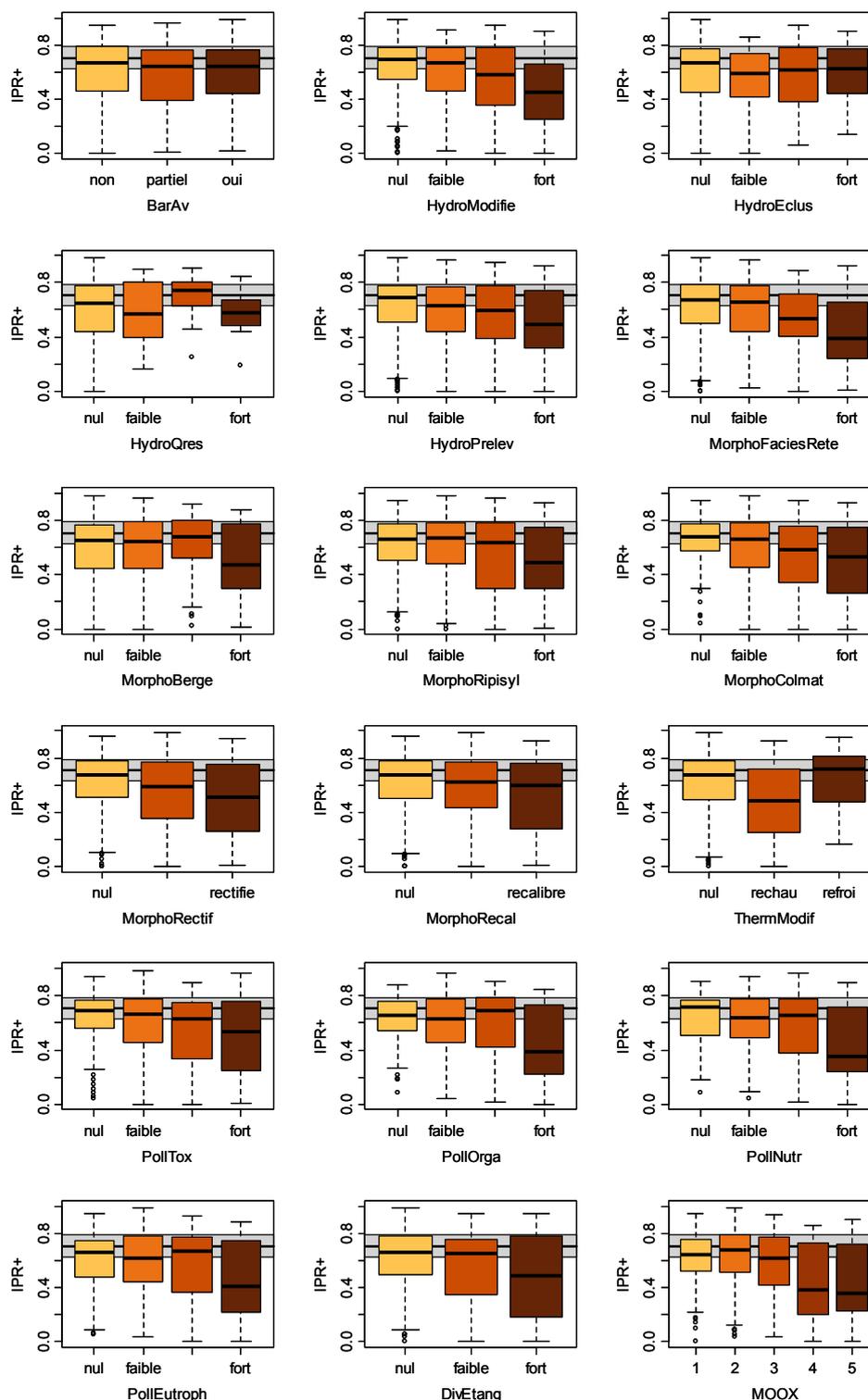


Figure 65 – Réponses de l'IPR+ V.1.2 aux pressions individuelles pour la zone à barbeau. La gamme de valeurs de l'IPR+ colorées en gris représente l'interquartile (25 %-75 %) et la médiane des valeurs des sites dits de « référence ». L'intensité de la réponse de l'indicateur est à apprécier en termes d'écart par rapport à cet intervalle.

Zone à brème

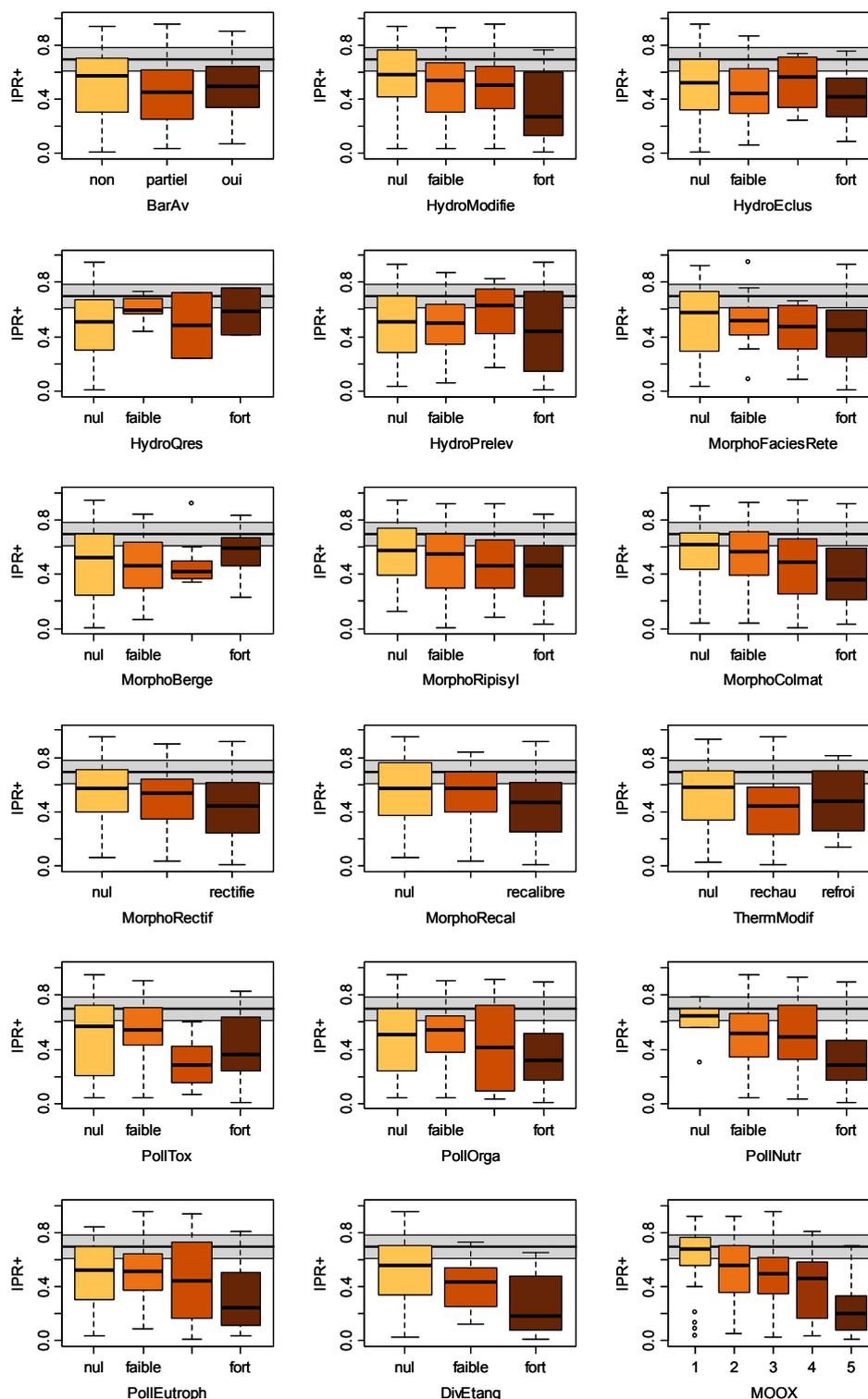


Figure 66 – Réponses de l'IPR+ V.1.2 aux pressions individuelles pour la zone à brème. La gamme de valeurs de l'IPR+ colorées en gris représente l'interquartile (25 %-75 %) et la médiane des valeurs des sites dits de « référence ». L'intensité de la réponse de l'indicateur est à apprécier en termes d'écart par rapport à cet intervalle.

## 9 Comparaisons des différentes versions de l'indicateur

### 9.1 Versions V.1.1 et V.1.2 de l'IPR+

Nous nous intéressons tout d'abord à la différence existant entre les versions V.1.1 et V.1.2 de l'IPR+. Comme nous l'avons expliqué plus haut, la distinction entre ces deux versions de l'indicateur réside en l'adjonction d'une métrique « classe de tailles » portant sur les juvéniles de truites.

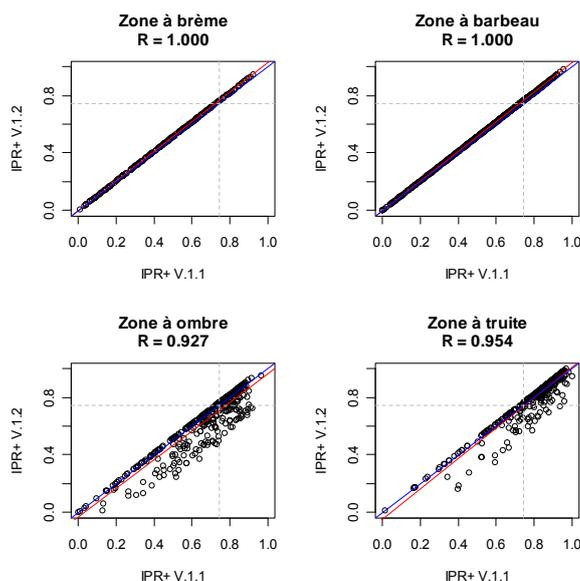


Figure 67 – Relation entre les versions V.1.1 et V.1.2 de l'IPR+ pour chacune des zones de Huet (en bleu : droite d'équation  $y = x$  ; en rouge : modèle linéaire ; en gris : position de la limite entre les classes 2 et 3 située à la médiane de l'intervalle d'intercalibration).

La métrique « truite » n'étant appliquée que dans les zones à ombre et à truite, il est normal que nous n'observions pas de différence notable dans les deux autres types de cours d'eau de la zonation de Huet. Dans les deux zones où la métrique « truite » est utilisée, on observe une baisse de certaines notes, en particulier pour les stations qui présentaient des notes élevées dans la version V.1.1. Les sites les moins bien notés par la V.1.1 sont, quant à eux, peu affectés par l'ajout de la métrique « classe de tailles ». Toutes les stations des zones à ombre et à truite ne sont pas affectées car la métrique n'est utilisée que si elle fait partie des deux métriques d'abondance les plus basses (cf. *supra*). Il n'est guère étonnant que les métriques « fonctionnelles » soient plus fréquemment sévères que la métrique « truite » pour les stations les plus perturbées, car un déficit en espèces oxyphiles ou rhéophiles semble bien plus invalidant qu'une insuffisance de truites juvéniles.

La très légère différence existant entre les versions V.1.1 et V.1.2 pour les stations où la métrique « truite » n'intervient pas — y compris dans les zones à brème et à barbeau — s'explique par le fait qu'après agrégation des métriques, l'indice est ensuite transformé en EQR par division des valeurs par la médiane des sites de « référence », puis rescalé entre 0 et 1 par la valeur maximale des sites de « construction ». La médiane des sites de « référence » et potentiellement la valeur maximale de sites de « construction », ont pour effet de réhausser mécaniquement les notes au fur et à mesure que leur valeur augmente.

Étant donné les faibles différences entre les versions V.1.1 et V.1.2 de l'IPR+, au vu des forts taux de corrélations observés, et dans un souci de simplification, il a été décidé d'écarter la version V.1.1 des comparaisons ultérieures entre les différentes versions de l'indicateur.

## 9.2 Versions V.0 et V.1.2 de l'IPR+

Concernant les différences entre les versions V.0 et V.1.2 de l'IPR+, elles sont plus importantes : prise en compte de la temporalité des données climatiques, des effets dus aux espèces rares, métriques sélectionnées différentes, absence de prise en compte de la typologie des cours d'eau lors de l'agrégation des métriques, agrégation des métriques par unité (abondance et richesse), etc. Cela se voit lorsque l'on s'intéresse à la régression entre ces deux versions de l'indicateur.

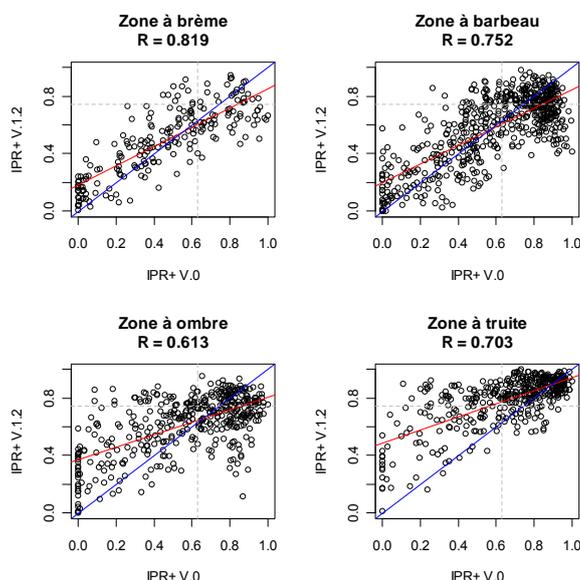


Figure 68 – Relation entre les versions V.0 et V.1.2 de l'IPR+ pour chacune des zones de Huet (en bleu : droite d'équation  $y = x$  ; en rouge : modèle linéaire ; en gris : position de la limite entre les classes 2 et 3 située à la médiane de l'intervalle d'intercalibration pour la version V.1.2).

Comme on peut le constater sur les représentations graphiques, les différences entre les versions V.0 et V.1.2 sont plus marquées dans les zones amont que dans les zones aval. Ceci s'explique en partie par le fait que l'adjonction de la métrique « classe de tailles truite » se fait uniquement pour les zones à ombre et à truite. Comme nous l'avons déjà vu précédemment, la version V.1.2 de l'IPR+ est moins sévère que la version V.0 pour les stations les plus dégradées de zones à ombre et à truite. On peut tout de même constater que les deux versions du nouvel indicateur, étudiées ici, sont bien corrélées et leurs évaluations respectives de l'état écologique des cours d'eau restent en accord.

Lorsque l'on s'intéresse aux différences entre ces deux variantes de l'indicateur en distinguant les 9 délégations interrégionales, on remarque quelques disparités de réaction lors du passage de la version V.0 à la version V.1.2. Globalement, comme constaté précédemment, l'IPR+ V.1.2 est moins sévère pour les stations qui présentaient des notes basses avec la version V.0. Les résultats diffèrent cependant selon les DiR.

Certaines DiR semblent relativement peu affectées par les modifications apportées par la version V.1.2 de l'IPR+ ; c'est le cas des DiR, 2, 3, 4 et, dans une moindre mesure, de la DiR 1 (bien que l'examen en cours du jeu de données sur les sites RCS de l'AESN échantillonnés en 2007-2009 laisse apparaître une forte modification de l'évaluation dans le sens d'une dégradation).

En revanche, les délégations n° 5, 8 et 9 sont relativement affectées par le changement de version de l'indice. Pour les DiR 5 et 8, la version V.1.2 est plus clémente pour les sites qui présentaient des notes basses avec la version V.0 ; les 2 DiR couvrent les petits cours d'eau alpins (zones à truite et à ombre) et ces derniers sont mieux notés par la nouvelle version de l'IPR+.

Par ailleurs, la nouvelle version semble mieux réagir pour les cours d'eau qui présentent naturellement de très faibles richesses (particulièrement fréquents dans la DiR 5), et ne sanctionne plus les stations concernées de manière aussi brutale que dans la version antérieure.

Dans de nombreux cas, les différences observées s'expliquent, en premier lieu, par la non prise en compte des espèces rares dans la version V.1.2 de l'IPR+. En effet, une des critiques de la version

V.0 était l'importance trop forte accordée aux espèces très faiblement représentées dans l'échantillon. C'est en particulier le cas d'espèces de type limnophile présentes quasi « accidentellement » dans le cours d'eau en raison de la présence d'étangs connectés à l'amont.

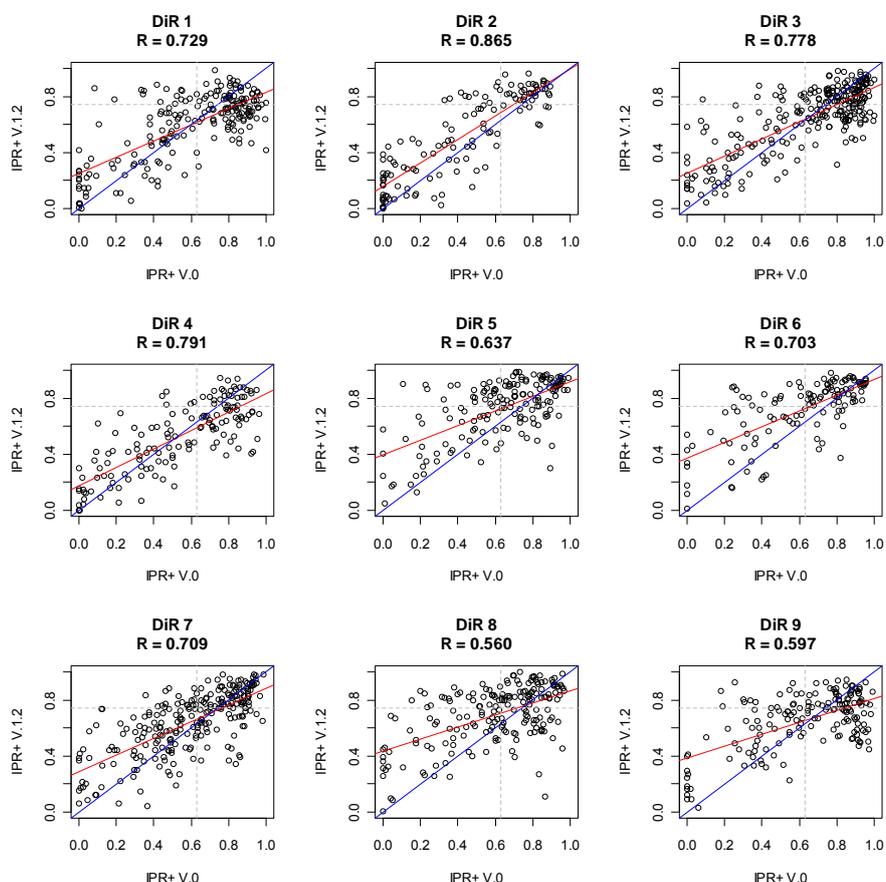


Figure 69 – Relation entre les versions V.0 et V.1.2 de l'IPR+ pour chacune des DiR (en bleu : droite d'équation  $y = x$  ; en rouge : modèle linéaire ; en gris : position de la limite entre les classes 2 et 3 située à la médiane de l'intervalle d'intercalibration pour la version V.1.2).

### 9.3 IPR et version V.1.2 de l'IPR+

Lorsque l'on s'intéresse aux différences entre l'IPR (borné à 47, conformément à l'exercice d'intercalibration européen) et la version V.1.2 de l'IPR+ on peut constater que les corrélations sont légèrement moins bonnes que celles observées entre les versions V.1.1 et V1.2 de l'IPR+, ce qui n'est guère étonnant.

Par ailleurs, on remarque que les changements apportés par la nouvelle version de l'indicateur affectent en premier lieu la zone à truite. Si l'on se réfère aux limites entre les classes 2 et 3, pour ce type de cours d'eau, les deux indices semblent en accord pour la majeure partie des sites. L'IPR+ semble toutefois un peu plus indulgent que l'IPR. On constate, en effet, des sites bien classés par l'IPR et très déclassés par l'IPR+, sans que l'inverse ne s'observe.

Exception faite de la zone à brème, l'IPR et l'IPR+ semblent plus en accord sur les bons sites (classes 1-2) et en divergence sur les mauvais sites (classes 3-4-5). Pour la zone à brème, même si la variance reste forte, il ne semble pas qu'une structure particulière se dessine dans la relation entre l'IPR et l'IPR+ V.1.2.

Lorsque l'on tient compte des 9 délégations interrégionales, on ne remarque pas de singularité importante.

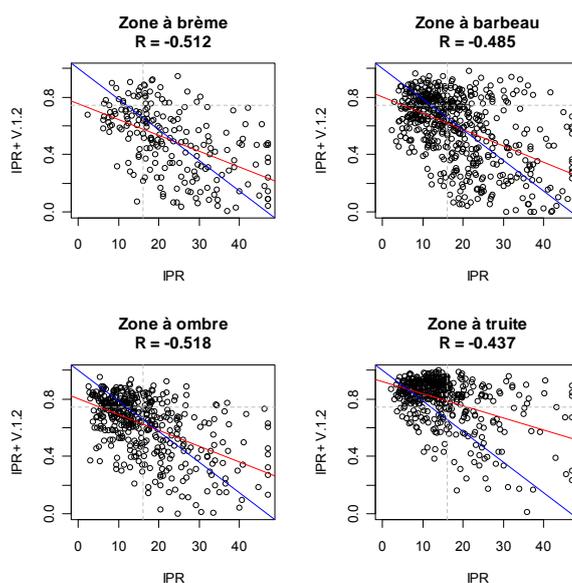


Figure 70 – Relation entre l'IPR et la version V.1.2 de l'IPR+ pour chacune des zones de Huet (en bleu : droite d'équation  $y = x$  transformée ; en rouge : modèle linéaire ; en gris : position de la limite entre les classes 2 et 3 située à la médiane de l'intervalle d'intercalibration du groupe Lowland-Midland).

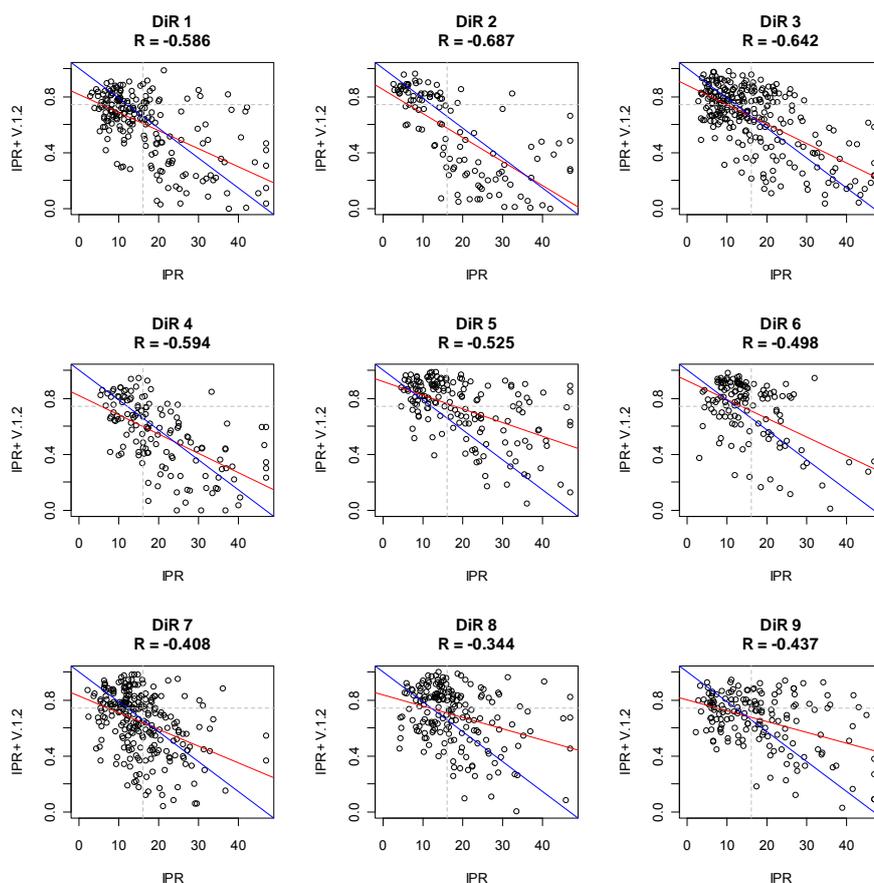


Figure 71 – Relation entre l'IPR et la version V.1.2 de l'IPR+ pour chacune des DiR (en bleu : droite d'équation  $y = x$  transformée ; en rouge : modèle linéaire ; en gris : position de la limite entre les classes 2 et 3 située à la médiane de l'intervalle d'intercalibration du groupe Lowland-Midland).

## 9.4 Comparaison des classes de qualités écologiques

Les tableaux présentés ci-après indiquent le nombre de stations affectées aux différentes classes de qualité selon l'IPR et les versions de l'IPR+ et ce, pour chacune des 9 délégations interrégionales. Concernant la version V.1.2 de l'indicateur, nous avons mentionné la distribution au sein des classes de qualité selon deux versions de définition des limites des bornes :

- la première retient, pour la limite de classes 1-2, la valeur la plus basse possible par rapport à l'intervalle d'intercalibration européen (IPR+ V.1.2 MIN) ;
- la seconde correspond au choix de la valeur médiane de l'intervalle d'intercalibration, c'est-à-dire une position optimale en termes de comparabilité par rapport aux autres méthodes utilisées en Europe (IPR+ V.1.2 MED).

Ces tableaux permettent de réexaminer par classe de qualité les convergences et divergences entre les différentes versions de l'indicateur, en tenant compte des DiR.

Tableau 93 – Distribution des stations de la DiR 1 par classes de qualité de l'IPR et des différentes versions de l'IPR+.

Indicateur	1	2	3	4	5
IPR	25	91	49	22	16
IPR+ V.0	27	84	44	21	27
IPR+ V.1.2 MED	6	58	81	34	24
IPR+ V.1.2 MIN	14	84	59	27	19

Tableau 94 – Distribution des stations de la DiR 2 par classes de qualité de l'IPR et des différentes versions de l'IPR+.

Indicateur	1	2	3	4	5
IPR	22	38	26	15	14
IPR+ V.0	0	40	22	18	35
IPR+ V.1.2 MED	9	34	18	28	26
IPR+ V.1.2 MIN	15	37	14	26	23

Tableau 95 – Distribution des stations de la DiR 3 par classes de qualité de l'IPR et des différentes versions de l'IPR+.

Indicateur	1	2	3	4	5
IPR	42	107	67	27	20
IPR+ V.0	54	116	34	27	32
IPR+ V.1.2 MED	28	88	87	36	24
IPR+ V.1.2 MIN	41	103	69	29	21

Tableau 96 – Distribution des stations de la DiR 4 par classes de qualité de l'IPR et des différentes versions de l'IPR+.

Indicateur	1	2	3	4	5
IPR	3	51	43	24	15
IPR+ V.0	9	56	26	22	23
IPR+ V.1.2 MED	3	30	45	36	22
IPR+ V.1.2 MIN	10	34	40	35	17

Tableau 97 – Distribution des stations de la DiR 5 par classes de qualité de l'IPR et des différentes versions de l'IPR+.

Indicateur	1	2	3	4	5
IPR	11	69	43	25	18
IPR+ V.0	24	73	37	18	14
IPR+ V.1.2 MED	48	46	47	18	7
IPR+ V.1.2 MIN	61	49	36	15	5

Tableau 98 – Distribution des stations de la DiR 6 par classes de qualité de l'IPR et des différentes versions de l'IPR+.

Indicateur	1	2	3	4	5
IPR	10	74	30	11	3
IPR+ V.0	15	58	21	23	11
IPR+ V.1.2 MED	31	47	27	16	7
IPR+ V.1.2 MIN	41	45	25	11	6

Tableau 99 – Distribution des stations de la DiR 7 par classes de qualité de l'IPR et des différentes versions de l'IPR+.

Indicateur	1	2	3	4	5
IPR	27	127	67	24	4
IPR+ V.0	25	99	65	35	25
IPR+ V.1.2 MED	32	67	86	49	15
IPR+ V.1.2 MIN	42	84	70	38	15

Tableau 100 – Distribution des stations de la DiR 8 par classes de qualité de l'IPR et des différentes versions de l'IPR+.

Indicateur	1	2	3	4	5
IPR	10	88	62	25	8
IPR+ V.0	20	85	39	29	20
IPR+ V.1.2 MED	32	63	65	29	4
IPR+ V.1.2 MIN	44	63	60	22	4

Tableau 101 – Distribution des stations de la DiR 9 par classes de qualité de l'IPR et des différentes versions de l'IPR+.

Indicateur	1	2	3	4	5
IPR	28	51	44	26	13
IPR+ V.0	29	64	32	23	14
IPR+ V.1.2 MED	13	52	69	20	8
IPR+ V.1.2 MIN	23	66	48	19	6

## 10 Version V.1.3 de l'indice

La principale changements qui font différer la version V.1.3 de la version V.1.2 précédemment décrite réside en la modification de la prise en compte des espèces rares et l'adjonction d'une métrique basée sur les grands migrateurs » – qui n'est toutefois pas incluse directement dans l'indicateur, mais qui est adjointe comme un outil complémentaire de diagnostic.

### 10.1 Considération des espèces rares

Afin de palier au poids trop grand alloué aux espèces rares dans la version V.0 de l'indicateur — en particulier pour les métriques de richesse —, il a été décidé de ne pas prendre en compte ces espèces dans le calcul des métriques. Cependant au vu des retours des agents de l'ONEMA quant à cette prise en compte dans les versions V.1.1 et V.1.2 de l'indicateur, il a été décidé de réviser cette considération des espèces rares afin de les exclure moins fréquemment que ce qui avait été fait précédemment. Aussi, a-t-il été décidé d'appliquer les règles suivantes :

- lorsque l'effectif total d'une pêche est inférieur à 200 individus, les espèces représentées par un individu unique ne sont pas considérées ;
- lorsque l'effectif pêché est supérieur ou égal à 200 poissons, on ne considère pas les espèces dont l'effectif n'excède pas 2 individus.

En conséquence, les paramètres des modèles ont dû être redéfinis. Cependant aucune modification dans le choix des métriques n'a été apportée. Par ailleurs les paramètres du modèle de la métrique « classe de tailles truite » sont inchangés.

### 10.2 Paramètres des modèles

La liste des paramètres des variables relatives aux modèles des métriques sont contenues dans le tableau suivant.

*Tableau 102 – Liste des paramètres des modèles des métriques sélectionnées. Les variables dont le nom est précédé d'un "L" minuscule sont exprimées en logarithme népérien. Les variables qualitatives présentent n-1 modalités ; les premières modalités par ordre alphabétique (GEOL1c : formation géologique dominante calcaire ; REG3\_GVreg\_pf : régime hydrologique pluvial fort) ne sont donc pas mentionnés dans le tableau car elles présentent des paramètres nuls.*

Métrique	Intercept	IPOW	IPOW <sup>2</sup>	IBV_FINAL	IBV_FINAL <sup>2</sup>	TEMP_MEAN_STA_Y	TEMP_MEAN_STA_Y <sup>2</sup>	TEMP_AMPL_STA_Y	TEMP_AMPL_STA_Y <sup>2</sup>	GEOL1s	REG3_GVreg_pfm	REG3_GVreg_pmg
abond.offset.EauO2.O2INTOL	-1.590	0.161		-0.003	-0.030							
abond.offset.HabGlob.HINTOL	8.645	-0.544	0.037	-0.258	-0.011	-0.086		-0.779	0.026	-0.203	0.289	0.045
abond.offset.HabRepro.RHPAR	-1.086	0.066		0.054	-0.017			0.023				
ric.brute.EauGeneral.TOL	4.256	-1.390	0.048	1.263	-0.057	0.066				-0.249	0.271	0.009
ric.brute.EauTemp.STTHER	3.993			0.353	-0.040	0.600	-0.032	-0.890	0.028		0.144	-0.308
ric.brute.HabRepro.LIPAR	0.871	-1.918	0.064	1.412	-0.053			0.547	-0.011	-0.460	0.595	0.278
ric.brute.Troph.OMNI	-10.868	-1.116	0.040	1.439	-0.077	1.124	-0.046	0.748	-0.020			
ric.offset.EauGeneral.INTOL	2.503	0.177		-0.248		-0.045		-0.503	0.017			
ric.offset.EauO2.O2INTOL	0.247	-0.348	0.026	0.073	-0.044	0.268	-0.016	-0.040				
ric.offset.Hab.LIMNO	-8.979	-1.615	0.051	1.471	-0.062			1.474	-0.044			

## 10.3 Métrique basée sur sur les espèces migratrices amphihalines

Une métrique basée sur les espèces migratrices est développée en lien avec le nouvel indicateur poisson. Il s'agit d'une métrique qui cible spécifiquement les espèces migratrices amphihalines. Elle constitue un moyen efficace d'évaluer les problèmes de continuité à l'intérieur du réseau hydrographique ; cet aspect, explicitement cité dans le texte de la DCE (Parlement européen & Conseil européen, 2000), étant à l'heure actuelle mal pris en compte par les outils de bio-indication existants.

La construction de la métrique consiste à comparer, pour un site ou un tronçon de cours d'eau donné, la liste des espèces migratrices actuellement présentes à celle des espèces présentes en situation de référence établie en particulier à partir des données historiques.

L'ensemble des types de cours d'eau sont potentiellement concernés, exception faite des zones aval proches des embouchures pour lesquelles la proportion d'espèces de type estuarienne est élevée. Toutefois, par principe, l'usage de la métrique « migrants » se limite à la partie du réseau hydrographique occupée historiquement par au moins une espèce de grands migrants.

Les grands principes de cette métrique « migrant » sont explicités ci-après. Toutefois, pour plus d'information sur cette métrique et sa sélection, il convient de se rapporter au rapport de Belliard *et al.* (2010).

### 10.3.1 Jeu de données utilisé et méthode d'échantillonnage

La métrique « migrants » a été élaboré à partir du jeu de données de stations réparties sur l'ensemble de la France métropolitaine et de la Corse (1682 stations de 1998 à 2007) — étudiées dans le cadre du développement de l'IPR+ — et qui ont fait l'objet d'une évaluation concernant (1) la situation actuelle et passée des espèces migratrices et (2) l'importance des pressions touchant à la continuité.

La première étape du travail consiste à établir, sur chacune des 1682 stations considérées, le référentiel concernant la présence potentielle (ou l'absence) de 7 espèces amphihalines. Ce référentiel a été construit en utilisant les deux sources de données évoquées précédemment. Il a été établi à partir des données d'expertise fournies par les agents des DiR de l'ONEMA, qui ont été complétées ensuite en intégrant les éléments issus de divers sources historiques (littérature scientifique ancienne, archives administrative...).

La qualification de la présence actuelle des espèces intègre toutes les données disponibles et exploitables en ce sens et ne se limite donc pas aux seules informations recueillies lors des pêches électriques. Les données concernant la présence actuelle des espèces migratrices sur les 1682 stations étudiées ont été fournies par les agents des DiR de l'ONEMA (information recueillie initialement dans le cadre du programme européen EFI+, vérifiée et complétée). Trois modalités différentes ont été utilisées pour qualifier la présence/absence actuelle des espèces :

- Pres : présence de l'espèce sans précision quant à son caractère naturel ou non.
- Abs : espèce absente.
- NA : absence de connaissance sur la présence actuelle.

### 10.3.2 Calcul de la métrique

La démarche de développement d'une métrique migrants engagée dans le cadre du programme européen EFI+ avait conduit à tester différents modes de construction possible pour cette métrique sur la base d'indices mesurant la similarité ou la distance entre le peuplement observé actuellement (sur la base de la présence/absence des espèces) et le peuplement potentiel. Au final la forme de la métrique qui s'est révélé la plus pertinente est basée sur un calcul simple correspondant au ratio entre nombre d'espèces actuelles et nombre d'espèces potentielles :

$$\text{Met}_{\text{Mig}} = \frac{\text{RS}_{\text{act}}}{\text{RS}_{\text{ref}}}$$

où  $RS_{act}$  correspond au nombre d'espèces observées actuellement et  $RS_{ref}$  correspond au nombre d'espèces potentielles.

La métrique a été calculée sur la base des 7 espèces retenues précédemment dans les étapes de constitution et validation des données.

Tableau I – Liste des espèces prises en compte dans le calcul de la métrique.

Nom vernaculaire	Nom Latin
Lamproie marine	<i>Petromyzon marinus</i>
Esturgeon européen	<i>Acipenser sturio</i>
Saumon atlantique	<i>Salmo salar</i>
Eperlan	<i>Osmerus eperlanus</i>
Grande alose	<i>Alosa alosa</i>
Alose finte	<i>Alosa fallax</i>
Flet	<i>Platichthys flesus</i>

Les valeurs de la métrique « migrants » sont distribuées entre 0 et 1. Cette métrique étant envisagée comme un outil complémentaire venant renforcer l'évaluation écologique fournie par l'IPR+, aucune classe de qualité ne lui est attachée à ce stade.

### 10.3.3 État et diagnostic

L'une des raisons ayant motivé le développement d'une métrique « migrants » est de répondre à la problématique « continuité » par ailleurs peu intégrée dans les réponses des autres métriques de l'IPR+.

Pour tester la réponse à ce type de pression, nous avons utilisé en priorité un critère d'évaluation de la continuité apprécié à l'échelle du bassin aval (BarMer). Ce critère évalue l'existence d'obstacles (artificiels) potentiels à la migration entre la station et la mer. Pour cette variable, 3 modalités sont disponibles :

- Non : pas d'obstacle (où obstacles a priori franchissables au moins une partie de l'année) ;
- Partiel : présence d'au moins 1 obstacle considéré a priori franchissable par certaines espèces ;
- Oui : présence d'au moins une barrière jugée infranchissable pour la plupart des espèces la plupart du temps.

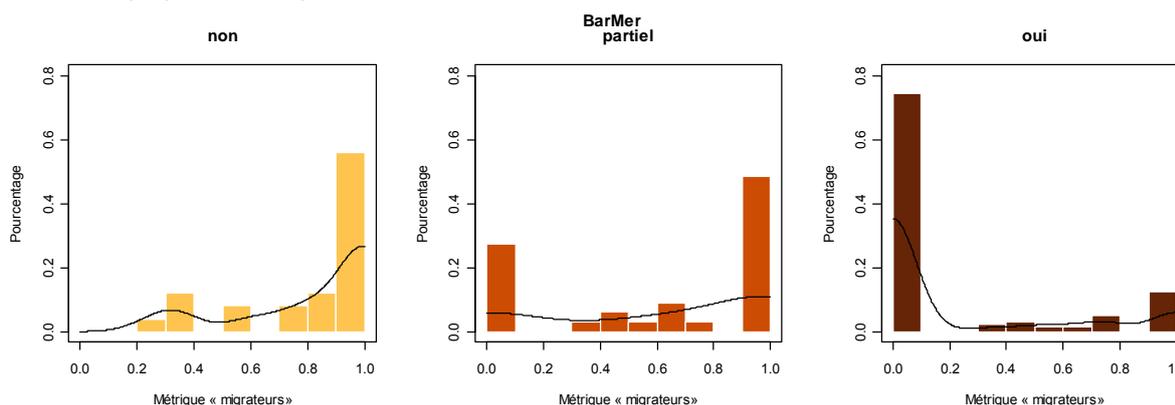


Figure 1 – Distribution des valeurs de la métrique « migrants » en fonction de la présence d'obstacle (non naturel) à la migration à l'aval de la station jusqu'à la mer.

En termes de diagnostic, cette métrique supplémentaire basée sur l'occurrence des espèces de grands migrants historiquement présentes sur le site permettra d'évaluer le niveau d'altération de la connectivité à l'échelle du bassin (présence d'obstacles infranchissables entre le site et la mer).

L'intégration de l'anguille dans la métrique pose un problème spécifique dans la mesure où bien qu'il s'agisse de l'espèce migratrice la plus largement représentée, nous sommes pour le moment dans l'incapacité de préciser de manière satisfaisante son aire potentielle de distribution continentale à partir des données historiques. Les tests que nous avons réalisés montrent que même lorsque l'espèce n'est pas prise en compte, la réponse de la métrique aux altérations de la continuité reste tout à fait satisfaisante. En revanche il est important de souligner que l'élimination de l'espèce du calcul implique de fait l'impossibilité de mettre en œuvre la métrique sur un nombre importants de cours d'eau (ceux pour lesquels l'anguille est potentiellement la seule espèce migratrice présente).

### **10.3.4 Limites d'application**

Le calcul de la métrique « migrants » ne se limite pas à l'utilisation des données de pêches électriques réalisées dans le cadre des réseaux de suivis classiques mais intègre potentiellement toutes les sources de données fiables concernant la répartition continentale des espèces migratrices (captures, enquêtes, observations, suivis de passe à poissons...). Dans ces conditions il apparaît donc crucial d'organiser la remontée d'information de façon à disposer d'un état des lieux le plus exhaustif possible de la répartition actuelle des grands migrants.

La liste des espèces présentes en situation de référence est établie à partir de données concernant la répartition des espèces depuis le milieu du XVIII<sup>e</sup> siècle (complétées le cas échéant par des données plus actuelles). Sachant que dès cette époque, la répartition de certaines espèces pouvait déjà être largement contrainte par certaines activités humaines ou aménagements (surexploitation par la pêche, établissement de barrages et seuil...) cette procédure fournit donc une vision a minima de la répartition potentielle des espèces. Il convient également de souligner que ce référentiel est susceptible de s'enrichir progressivement au grès de la mise à jour de nouvelles informations non exploitées jusqu'à présent.

Les calculs de métriques prennent en compte un maximum de 7 espèces. Il est important de rappeler que le calcul de la métrique n'est pas possible sur tous les cours d'eau en particulier lorsque le peuplement de référence ne présente aucune espèce migratrice.

La métrique répond de manière très forte à l'altération de la continuité évaluée à l'échelle du bassin aval. La réponse de la métrique est en revanche beaucoup plus ténue, voire absente, si l'on s'intéresse à l'altération de la continuité appréhendée à l'échelle plus locale du tronçon de cours d'eau. Du point de vue de la mise en œuvre de la métrique dans le cadre de la DCE, ces résultats appellent deux remarques : (1) l'intégration de la métrique « migrants » permettra de rendre compte d'altérations touchant la continuité des cours d'eau, type d'altérations en général mal pris en compte par les métriques développées sur les espèces sédentaires, (2) améliorer la valeur de la métrique « migrants » évaluée à l'échelle d'une masse d'eau passera en général d'avantage par des mesures de restauration menées sur le bassin dans son ensemble (et notamment en aval) plutôt que par des actions localisées sur la masse d'eau elle-même.

Le calcul en routine de la métrique suppose de disposer d'un référentiel définissant la composition spécifique de la communauté migratrice en situation de référence pour les cours d'eau français. Ce calcul suppose également de disposer de données régulièrement mises à jour sur la présence actuelle des espèces dans le réseau hydrographique.

## **10.4 Comparaisons des versions V.1.2 et V.1.3 de l'indicateur**

Dans les comparaisons suivantes, afin de ne pas apporter diverses sources de variations, nous n'avons pas inclus les modifications relatives à la période d'application de la métrique truite. Ici, seules diffèrent la prise en compte des espèces rares et les nouveaux paramètres des modèles.

On s'intéresse tout d'abord aux liens entre les résidus centrés-réduits (métriques standardisées) des versions V.1.2 et V.1.3 de l'indicateur IPR+. Trivialement, les modifications sont extrêmement minimes pour les métriques d'abondance, puisque la modification des espèces rares n'influe quasiment pas sur l'abondance des espèces. Les métriques de richesse sont plus affectées et, plus particulièrement,

celles qui ne présentent pas d'offset ; ce qui est tout à fait logique. Même si la variabilité peut paraître un peu grande pour les métriques de richesse brutes, les corrélations restent élevées (légèrement inférieures à 0,9).

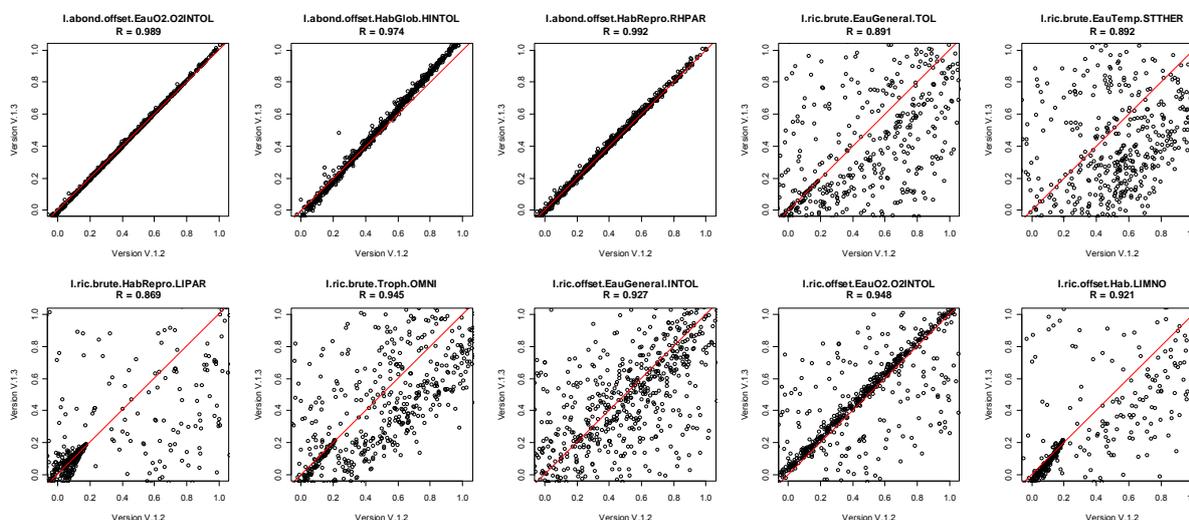


Figure 72 – Relations entre les résidus centrés-réduits des modèles des métriques des versions V.1.2 et V.1.3 de l'IPR+.

Lorsque l'on ne s'intéresse plus aux métriques standardisées, mais aux valeurs de l'indicateur à proprement parlé, on remarque que les indices des versions V.1.2 et V.1.3 et sont très liés (R = 0,961).

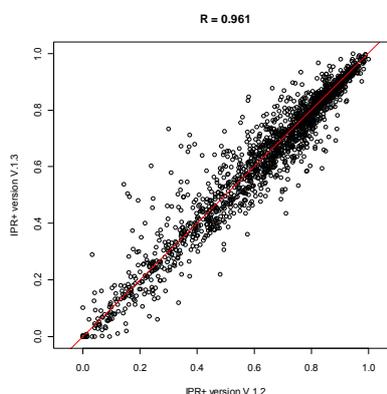


Figure 73 – Relation entre les versions V.1.2 et V.1.3 de l'IPR+.

Cependant, afin de vérifier qu'il n'existe pas de biais systématique, nous avons vérifié qu'il n'existait cependant pas de lien avec la taille de l'échantillonnage ou la taille du BV pour les deux versions de l'IPR+. Nous avons également vérifié ce lien métrique par métrique.

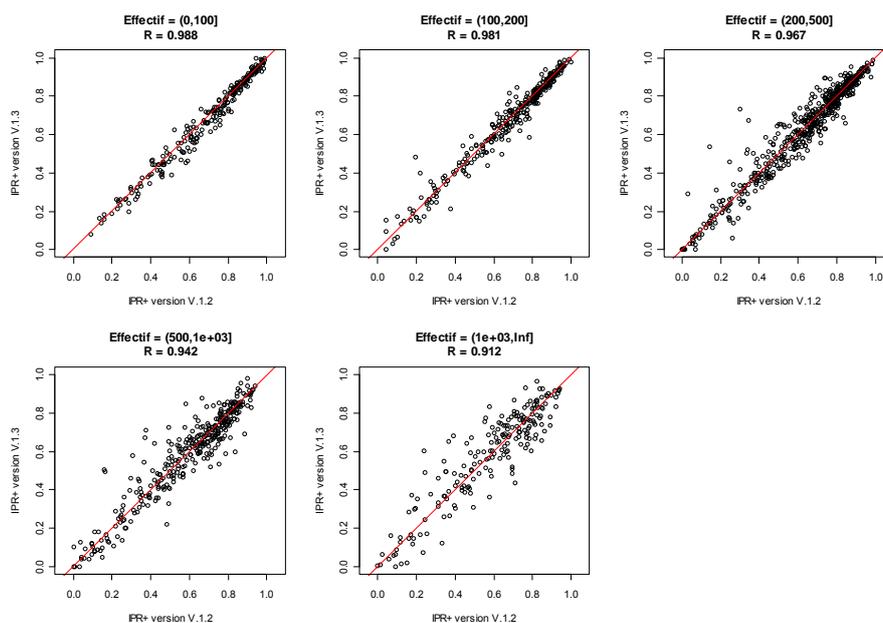


Figure 74 – Relation entre les versions V.1.2 et V.1.3 de l'IPR+ pour 5 classes de tailles d'échantillon.

Nous pouvons voir que plus les effectifs sont grands ou plus les BV sont grands, la variabilité entre les deux versions de l'indice augmente. Ce résultat s'explique en partie par le fait que les effectifs les plus grands et les bassins versants les plus vastes sont caractéristiques des grands cours d'eau et que c'est sur ce type de milieux que la nouvelle prise en compte des espèces rares est la plus différente entre les versions V.1.2 et V.1.3. Même si la variabilité varie, aucun biais systématique n'est décelable ; les variations observées ne sont pas orientées systématiquement vers de mauvaises ou de bonnes notes ou de bonnes notes lorsque l'on passe de la V.1.2 et la V.1.3.

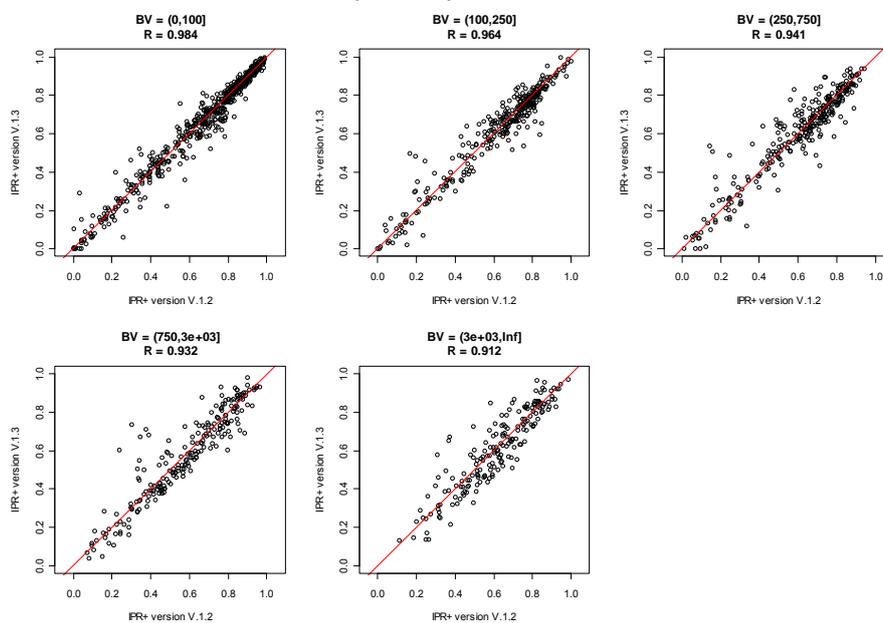


Figure 75 – Relation entre les versions V.1.2 et V.1.3 de l'IPR+ pour 5 classes de tailles de bassins versants.

## 11 Version V.2.0 de l'indice

La version V.2.0 de l'indicateur IPR+ apporte une contribution majeure à l'évaluation de la qualité écologique des cours d'eau. En effet, cette dernière version permet de calculer une incertitude associée à la note de l'indice. Pour ce faire, nous avons conservé les métriques précédemment sélectionnées, mais cette fois, elles ont subi une modélisation bayésienne qui permet d'avoir un distribution de note pour chaque opération de pêche.

Une modification mineure a aussi été apporté quant à la période d'application de la métrique « truite » et ce afin de prendre en compte les critiques des agents de l'ONEMA.

### 11.1 Application de la métrique « classe de tailles truite »

Dans la version précédente de l'indicateur, la métrique « truite » voyait sa période d'application s'étaler du mois d'août au mois de novembre, c'est-à-dire durant la période des pêches d'automne.

Après discussion avec les agents de l'ONEMA, il a été décidé de réviser cette période d'application, eut égard à la précocité (souvent juin ou juillet) de certaines pêches réalisées dans les zones alpines. Étant donné le fait que, dans le modèle servant à estimer le seuil de taille maximale permettant d'identifier juvéniles de l'année (0+), on rentre comme paramètre le nombre de jours écoulés depuis début de l'année et que la taille maximale est bornée 150 mm, la période d'application de la métrique a pu être élargie sans que cela ne pose de problème. Il a été décidé de définir cette dernière depuis le début du mois d'avril — soit à partir de la période d'emergence des juvéniles — jusqu'à la fin du mois de décembre. Comme auparavant, pour que cette métrique «truite » soit appliquée, les stations de pêches concernées doivent appartenir aux zones à truite et à ombre.

### 11.2 Modélisation bayésienne des métriques

#### 11.2.1 Principe de la modélisation bayésienne

Afin de pouvoir calculer une incertitude autour des métriques précédemment sélectionnées, les modèles ont été implémentés dans un cadre bayésien.

L'inférence bayésienne évalue la probabilité *a posteriori* de la distributions  $P(\theta|Y_i)$  d'un ensemble de paramètres  $\theta$ , lorsque l'on considère un ensemble de données observées  $Y_i$  (dans notre cas les métriques fonctionnelles) et un *prior* de la distribution de probabilité  $P(\theta)$  des paramètres  $\theta$ . Ces deux sources d'informations sont combinées à l'aide du théorème de Bayes afin d'obtenir la probabilité *a posteriori* :

$$P(\theta|Y_i) = \frac{P(Y_i|\theta) \times P(\theta)}{P(Y_i)}$$

La fonction de distribution de probabilité *a posteriori* des paramètres  $\theta = (\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_n)$  des GLM a été estimée en se servant des sites (peu ou pas perturbés) du jeu de « calibration » (McCarthy, 2007) :

$$Y \sim \alpha_0 + \alpha_1 \cdot x_{1,i} + \dots + \alpha_n \cdot x_{n,i} + \varepsilon_i$$

avec :

- $x_{1,i}$  à  $x_{n,i}$ , les variables environnementales de la station,
- $\alpha_0$  à  $\alpha_n$  les paramètres du modèle  $\theta$ .

Les fonctions de distribution de probabilité des valeurs prédites des métriques, en la quasi-absence de pressions anthropiques, sont calculées pour chaque site puis sont standardisées.

Comme Punt et Hilborn (1997) l'ont noté, la critique la plus commune de l'analyses bayésienne est la spécification *a priori* des distributions, en raison du choix subjectif des *priors*. Les recommandations

de ces auteurs ont ici été suivies, aussi avons-nous choisi de fixer des *priors* non-informatifs afin de nous assurer que la vraisemblance (i.e. l'information contenue dans les données observées) est prépondérante sur le *posterior*. Pour tous les modèles, les *priors* suivent des lois normales de paramètres  $\alpha_0 \sim N(1,10^6)$  pour l'ordonnée à l'origine,  $\alpha_1$  à  $\alpha_n \sim N(0,10^6)$  pour les variables environnementales. Par ailleurs, comme préconisé par Gelman *et al.* (2004), la sensibilité du choix des *priors* a été testée pour tous les paramètres des modèles. Afin d'évaluer la cohérence entre la distribution des données simulées par les modèles et les données observées, la discrédance du  $\chi^2$  (Gelman *et al.*, 2004, p. 175) et la p-value bayésienne (Brooks *et al.*, 2002) ont été calculées. Afin d'approximer les distributions *a posteriori* des paramètres estimés, 100 000 itérations ont été utilisées par l'algorithme MCMC (Markov chain Monte Carlo) utilisant la méthode d'échantillonnage de Gibbs. La convergence de la MCMC des paramètres des modèles a été testée grâce à la méthode de diagnostic de Gelman-Rubin (Brooks & Gelman, 1998), ainsi les 25 000 premières itérations ont-elles été écartées, car considérées comme une étape de rodage. Parmi les 75 000 itérations utilisables, pour plus de commodité, seulement 10 000 sont conservées. La modélisation bayésienne a été réalisée à l'aide du logiciel WinBUGS (Spiegelhalter *et al.*, 2003).

## 11.2.2 Paramètres des modèles

Étant donné le nombre d'itérations conservées, la modélisation bayésienne fournit donc, pour chacune des métriques, 10 000 paramètres de modèles (approximation des fonctions de distribution de probabilité). Pour chaque métrique, les statistiques des paramètres sont présentés dans le tableau suivant :

*Tableau 103 – Liste des moyennes (Mean) et écarts-types (Sd) des paramètres des modèles des métriques sélectionnées (10 000 itérations). Les variables dont le nom est précédé d'un "L" minuscule sont exprimées en logarithme népérien. Les variables qualitatives présentent n-1 modalités ; les premières modalités par ordre alphabétique (GEOL1c : formation géologique dominante calcaire ; REG3\_GVreg\_pf : régime hydrologique pluvial fort) ne sont donc pas mentionnés dans le tableau car elles présentent des paramètres nuls.*

Métrique	Estimation bayésienne des paramètres							
	Intercept		IPOW		IPOW <sup>2</sup>		IBV_FINAL	
	Mean	Sd	Mean	Sd	Mean	Sd	Mean	Sd
abond.offset.truite.total	<b>-9.301</b>	0.895	<b>0.428</b>	0.079			<b>1.067</b>	0.28
abond.offset.EauO2.O2INTOL	<b>-1.479</b>	0.475	<b>0.158</b>	0.037			<b>-0.032</b>	0.107
abond.offset.HabGlob.HINTOL	<b>1.676</b>	0.954	<b>0.213</b>	0.099	<b>0.002</b>	0.005	<b>-0.433</b>	0.136
abond.offset.HabRepro.RHPAR	<b>-1.095</b>	0.295	<b>0.066</b>	0.017			<b>0.054</b>	0.048
ric.brute.EauGeneral.TOL	<b>4.992</b>	1.631	<b>-1.559</b>	0.348	<b>0.055</b>	0.016	<b>1.348</b>	0.168
ric.brute.EauTemp.STTHER	<b>3.819</b>	1.534					<b>0.363</b>	0.117
ric.brute.HabRepro.LIPAR	<b>2.531</b>	2.115	<b>-1.958</b>	0.251	<b>0.065</b>	0.011	<b>1.430</b>	0.203
ric.brute.Troph.OMNI	<b>-8.079</b>	1.892	<b>-1.139</b>	0.225	<b>0.040</b>	0.01	<b>1.472</b>	0.146
ric.offset.EauGeneral.INTOL	<b>2.206</b>	1.177	<b>0.175</b>	0.037			<b>-0.248</b>	0.029
ric.offset.EauO2.O2INTOL	<b>-0.012</b>	0.975	<b>-0.325</b>	0.155	<b>0.025</b>	0.007	<b>0.094</b>	0.105
ric.offset.Hab.LIMNO	<b>-5.180</b>	1.180	<b>-1.751</b>	0.219	<b>0.057</b>	0.010	<b>1.550</b>	0.185

Métrique	Estimation bayésienne des paramètres							
	IBV_FINAL <sup>2</sup>		TEMP_MEAN_STA_Y		TEMP_MEAN_STA_Y <sup>2</sup>		TEMP_AMPL_STA_Y	
	Mean	Sd	Mean	Sd	Mean	Sd	Mean	Sd
abond.offset.truite.total	<b>-0.217</b>	0.035					<b>0.155</b>	0.054
abond.offset.EauO2.O2INTOL	<b>-0.027</b>	0.010						
abond.offset.HabGlob.HINTOL	<b>0.006</b>	0.012	<b>-0.063</b>	0.037			<b>-0.366</b>	0.129
abond.offset.HabRepro.RHPAR	<b>-0.017</b>	0.005					<b>0.024</b>	0.011
ric.brute.EauGeneral.TOL	<b>-0.063</b>	0.014	<b>0.062</b>	0.031				
ric.brute.EauTemp.STTHER	<b>-0.041</b>	0.012	<b>0.641</b>	0.175	<b>-0.033</b>	0.008	<b>-0.899</b>	0.137
ric.brute.HabRepro.LIPAR	<b>-0.054</b>	0.015					<b>0.355</b>	0.203
ric.brute.Troph.OMNI	<b>-0.078</b>	0.011	<b>0.904</b>	0.242	<b>-0.037</b>	0.010	<b>0.562</b>	0.059
ric.offset.EauGeneral.INTOL			<b>-0.045</b>	0.029			<b>-0.461</b>	0.134
ric.offset.EauO2.O2INTOL	<b>-0.046</b>	0.011	<b>0.279</b>	0.095	<b>-0.016</b>	0.005	<b>-0.040</b>	0.020
ric.offset.Hab.LIMNO	<b>-0.067</b>	0.013					<b>1.053</b>	0.203

Métrique	Estimation bayésienne des paramètres							
	TEMP_AMPL_STA_Y <sup>2</sup>		GEOL1s		REG3_GVreg_pm		REG3_GVreg_png	
	Mean	Sd	Mean	Sd	Mean	Sd	Mean	Sd
abond.offset.truite.total								
abond.offset.EauO2.O2INTOL								
abond.offset.HabGlob.HINTOL	<b>0.012</b>	0.005	<b>-0.215</b>	0.112	<b>0.252</b>	0.115	<b>0.078</b>	0.190
abond.offset.HabRepro.RHPAR								
ric.brute.EauGeneral.TOL			<b>-0.247</b>	0.091	<b>0.276</b>	0.113	<b>-0.003</b>	0.212
ric.brute.EauTemp.STTHER	<b>0.029</b>	0.005			<b>0.145</b>	0.109	<b>-0.324</b>	0.193
ric.brute.HabRepro.LIPAR	<b>-0.005</b>	0.007	<b>-0.477</b>	0.150	<b>0.616</b>	0.186	<b>0.251</b>	0.351
ric.brute.Troph.OMNI	<b>-0.014</b>	0.002						
ric.offset.EauGeneral.INTOL	<b>0.016</b>	0.005						
ric.offset.EauO2.O2INTOL								
ric.offset.Hab.LIMNO	<b>-0.030</b>	0.007						

### 11.2.3 Calcul des valeurs prédites des métriques

Afin de calculer les valeurs attendues des métriques, on dispose donc de 10 000 itérations de paramètres de modèles par opération de pêche. À partir de chaque itération, ces paramètres de modèles permettent de définir les paramètres des lois dans lesquelles seront tirées les prédictions, de sorte que les paramètres de ces lois varieront d'une itération à l'autre. Les lois, quant à elles, sont définies par les unités modélisées (cf. § 6.1.2.1 ; loi de Poisson pour les richesses et loi binomiale négative pour les abondances).

## 11.3 Transformation des métriques en EQR

Même si les étapes menant à la transformation des métriques en EQR restent identiques à ce qui a été fait antérieurement, le fait même de conserver un grand nombre de valeurs par opérations de pêche nécessite de réaliser quelques petits ajustements.

Comme auparavant, les métriques sont transformées en EQR en tenant compte de la stratégie d'échantillonnage des opérations de pêche (STRATEG). La stratégie d'échantillonnage considérée distingue les pêches complètes des pêches partielles et toutes les transformations qui vont suivre seront effectuées en fonction de ces 2 classes.

Afin de palier au fait que le sens de réponse des métriques peut varier d'un type de cours d'eau à l'autre — il n'est en effet pas rare que le sens de réponse d'une métrique s'inverse sur le gradient amont-aval (ex : positif dans une zone à truite et négatif dans une zone à brème) —, il convient de transformer les métriques pour qu'elles puissent présenter une réponse bilatérale. Pour cela, les résidus sont tout d'abord exprimés en valeurs absolues. Étant donné le fait qu'à ce stade, pour chaque opération de pêche, nous manipulons des distributions et non pas une valeur unique, le passage en valeur absolue, nécessite de s'adapter à chaque type de distribution que l'on peut rencontrer. En réalité, 7 cas différents se présentent à nous. Les cas 1 à 5 présentent des distributions pour lesquelles la moyenne est positive ; pour toutes ces situations, les valeurs dépassant le quantile 95 % sont translatées à la valeur de cette statistique (cas 1 à 3), et celles qui sont négatives sont translatées à 0 (cas 5), le reste de la distribution restant invariant (cas 2 à 5). Le cas 7 correspond parfaitement à ce qui est réalisé lorsque l'on passe un nombre négatif en valeur absolue ; ici l'ensemble de la distribution est en dessous de zéro, et les valeurs deviennent positives après transformation. Le cas 6 est le plus complexe ; il correspond à une situation où la distribution présente des valeurs négative, mais pour laquelle la moyenne est positive. Dans ce cas, la distribution doit subir deux transformations successives : une symétrie axiale autour de 0 (c'est-à-dire un passage en valeur absolue), puis une translation des valeurs négatives (auparavant celles qui étaient positives) résiduelles à 0.

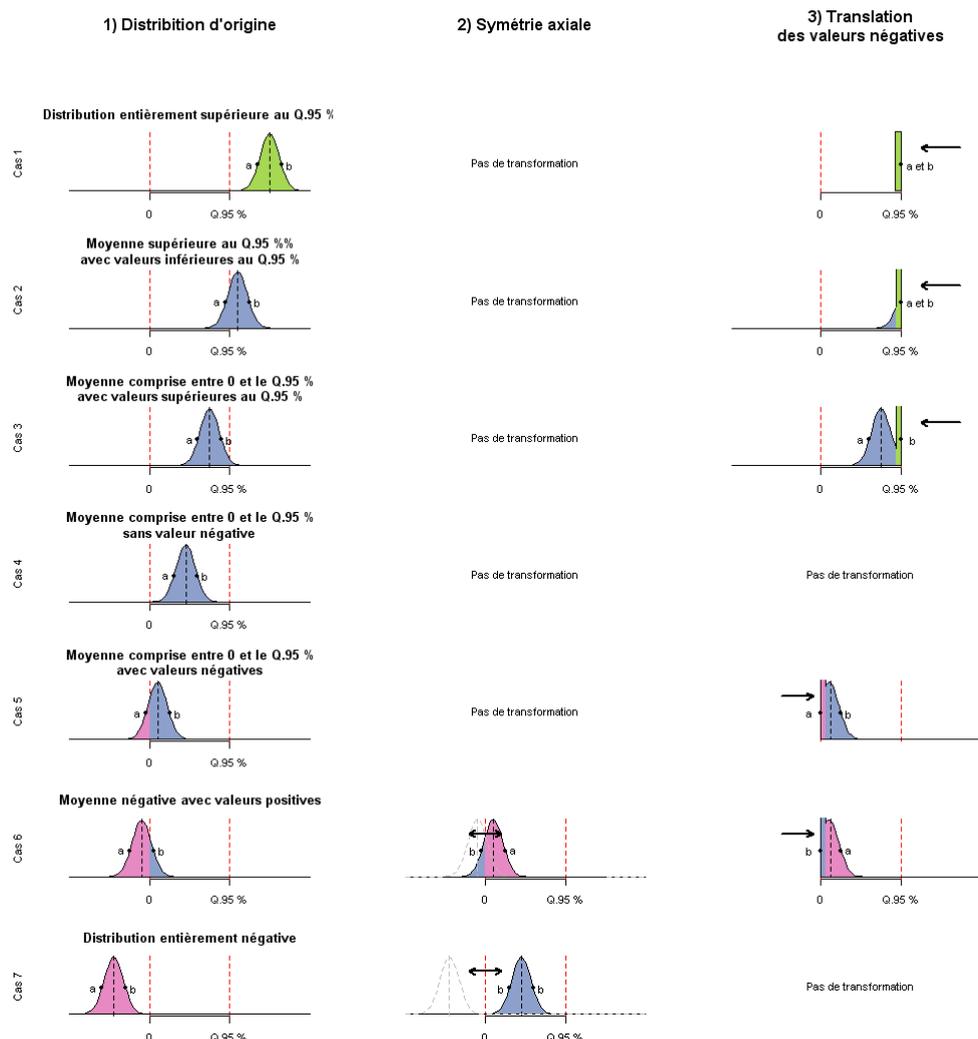


Figure 76 – Transformation en valeur absolue des distributions des métriques.

Par la suite, les valeurs excédant le quantile 95 % sont ramenées à cette dernière valeur. Puis les métriques sont rescalées entre 0 et 1. Étant donné le fait qu'à présent nous disposons d'une distribution de résidus pour chacune des opérations de pêche, la valeur du quantile 95 % correspond au percentile des moyennes de chaque distribution.

La DCE demande à ce que les métriques soient exprimées en EQR. Pour ce faire, on divise les métriques par les médianes des sites de référence (correspondant aux médianes des moyennes des distributions par opération de pêche). Ces valeurs médianes étant inférieures à 1, les valeurs des métriques ne sont alors plus distribuées entre 0 et 1. On corrige cela en utilisant les valeurs maximales (correspondant aux valeurs maximales des distributions pour chaque opération de pêche) des sites ayant servi à établir l'indicateur (sites du jeu de « construction »). Pour plus de commodité, on modifie les valeurs à l'aide d'une transformation « piecwise » afin de fixer la médiane des sites de « référence » à 0,8 tout en conservant la distribution de l'ensemble des valeurs dans l'intervalle [0 ; 1].

Afin de transformer les métriques en EQR, chaque statistique utile (quantile 95 %, médiane des sites de « référence » ou encore valeur maximale observée) est donc calculée à partir de la moyenne des distributions par opération de pêche.

En effet, la transformation en EQR nécessite de tronquer les résidus à valeur la du quantile 95 %, puis de les scaler et de les diviser par la médiane des sites de « référence ». Mais, à présent, nous n'avons

pas une seule valeur pour chacune de ces statistiques, mais 10 000. Aussi a-t-il été décidé que, pour chacune des statistiques, les 10 000 valeurs seraient remplacées par leur valeur moyenne.

## 11.4 Agrégation des métriques

L'étape d'agrégation est elle aussi identique à ce qui se faisait auparavant, mais là aussi les statistiques utiles (médiane des sites de « référence » et valeur maximale des sites de calibration) sont égales à la moyenne des 10 000 valeurs de l'indice fournies suite à la modélisation bayésienne.

Le processus d'agrégation des métriques est similaire à celui décrit pour la version précédente. La métrique « classe de tailles truite » est traitée de la même manière que les métriques « fonctionnelles » d'abondance. Aussi, pour chaque opération de pêche, on calcule d'une part, la moyenne des 2 métriques d'abondance plus basses (parmi les 4 calculées : 3 « fonctionnelles » et 1 « truite ») et, d'autre part, la moyenne des 4 métriques de richesse les plus basses (parmi les 7 calculées). Ensuite, pour obtenir l'IPR+, on fait la moyenne de ces 2 valeurs. L'indice est enfin transformé en EQR.

Il faut toutefois noter que si la métrique « truite » est calculée pour l'ensemble des stations, elle n'entre en compte dans le calcul d'indice que pour les pêches d'automne (avril à décembre) des zones à ombre et à truite (HUET54). Pour les stations en zone à brème et à barbeau et pour les pêches effectuées en dehors de la période avril-décembre, seules les métriques « fonctionnelles » basées sur la communauté sont prises en compte pour le calcul de l'IPR+.

## 11.5 Note de l'indice et incertitude

Pour une opération de pêche donnée, la note finale de l'indice correspond à la moyenne des 10 000 valeurs obtenues après agrégation des métriques (10 000 valeurs par métrique) et l'incertitude correspond à la distribution de ces 10 000 valeurs.

## 11.6 Choix du nombre d'itérations

Comme nous l'avons vu précédemment, les modèles bayésiens fournissent, pour chaque opération de pêche, non pas une seule, mais un très grand nombre de valeurs.

### 11.6.1 Tests de stabilité

Afin de tester la stabilité des résultats de l'indice, nous avons comparé 10 000 répétitions du calcul de l'indicateur sur les sites de « construction » en ne conservant que 1 000, 2 500, 5 000 ou 10 000 itérations de paramètres des modèles. Par exemple si l'on ne conserve que 2 500 itérations, pour chaque opération de pêche, on aura une distribution de l'IPR+ où la moyenne représentera la note de l'indice et la distribution son incertitude. On réitère alors ce calcul 10 000 fois afin de vérifier la stabilité de l'indicateur. Les résultats des analyses ont présentés dans le tableau suivant.

*Tableau 104 – Résultats de la stabilité de l'indice selon le nombre d'itérations des paramètres des modèles pour 10 000 répétitions (mean\_mn : la valeur moyenne de l'indice ; mean\_sd : la valeur moyenne de l'écart type des 10 000 tirages aléatoires [incertitude autour de l'indice] ; sd\_mn : l'écart type des 10 000 valeurs de l'indice ; sd\_sd : l'écart type de la dispersion [des écarts types des valeurs possibles de l'indice] ; qmns : la moyenne de l'inter quartile 2,5 et 97,5 % de la valeur d'indice ; qsds : la moyenne de l'inter quartile 2,5 et 97,5 % de l'écart type de la dispersion).*

Statistique	1 000 itérations	2 500 itérations	5 000 itérations	10 000 itérations
mean_mn	0.6633	0.6633	0.6618	0.6625
mean_sd	0.1317	0.1318	0.1322	0.1318
sd_mn	0.0041	0.0026	0.0018	0.0013
sd_sd	0.0032	0.0021	0.0015	0.0011
qmns	0.0160	0.0102	0.0072	0.0051
qsds	0.0124	0.0080	0.0058	0.0041

Après ces divers tests de stabilité, il s'avère qu'il est nécessaire de conserver exactement 6 007 itérations par opération afin de fournir une estimation fiable de l'incertitude de l'indice (c'est-à-dire

stable à  $10^{-3}$ , suivant les règles de la DCE ; les indices devant être harmonisé à ce niveau de précision). Pour plus de commodité, 10 000 itérations seront donc conservées.

### 11.6.2 Vérification de la concordance des résultats de la modélisation classique et de la modélisation bayésienne

La cohérence des résultats de la méthode de modélisation bayésienne avec ceux de la méthode fréquentiste utilisée pour les versions précédentes de l'IPR+ est vérifiée. Pour cela, nous avons comparé les valeurs des résidus centrés-réduits (métriques standardisées), des métriques en EQR et de l'indice IPR+ de la version V.2 obtenus par ces deux méthodes. Nous présentons ici les résultats pour les 1 654 sites de construction.

Les différences entre les résidus centrés-réduits sont très faibles pour l'ensemble des métriques.

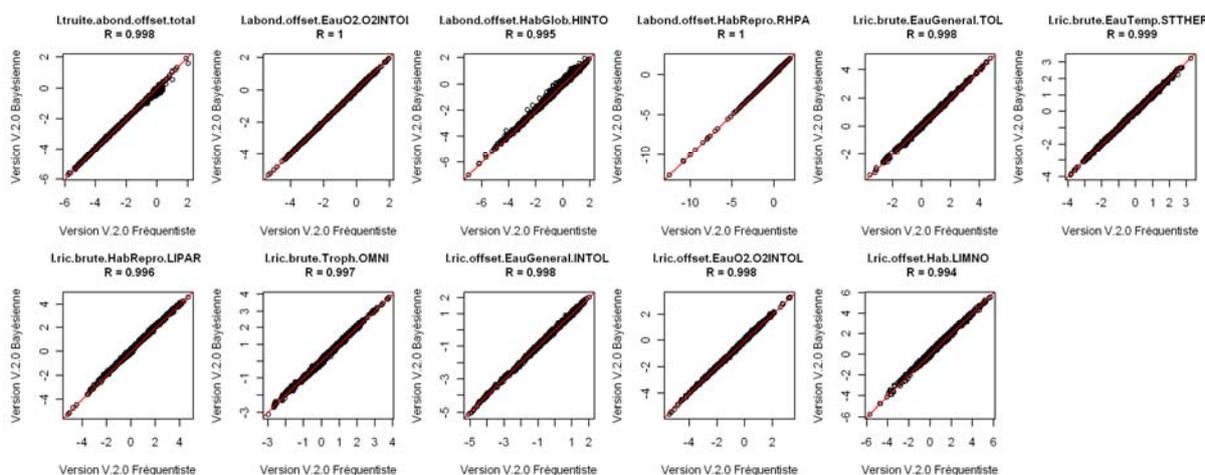


Figure 77 – Relations entre les résidus centrés-réduits des modèles des métriques de la version V.2.0 de l'IPR+ calculés à partir des statistiques fréquentistes et bayésienne.

Comme indiqué plus haut, la méthode bayésienne induit la manipulation de distributions de probabilité et non de valeurs uniques. Les transformations en EQR ont été adaptées à ce type d'objets et sont donc légèrement différentes de celles de la version classique (cf. § 11.3). Par conséquent, les valeurs des métriques en EQR sont un peu différentes pour les deux méthodes. Les corrélations entre les résultats des deux méthodes restent cependant très élevées ( $R > 0,947$ ).

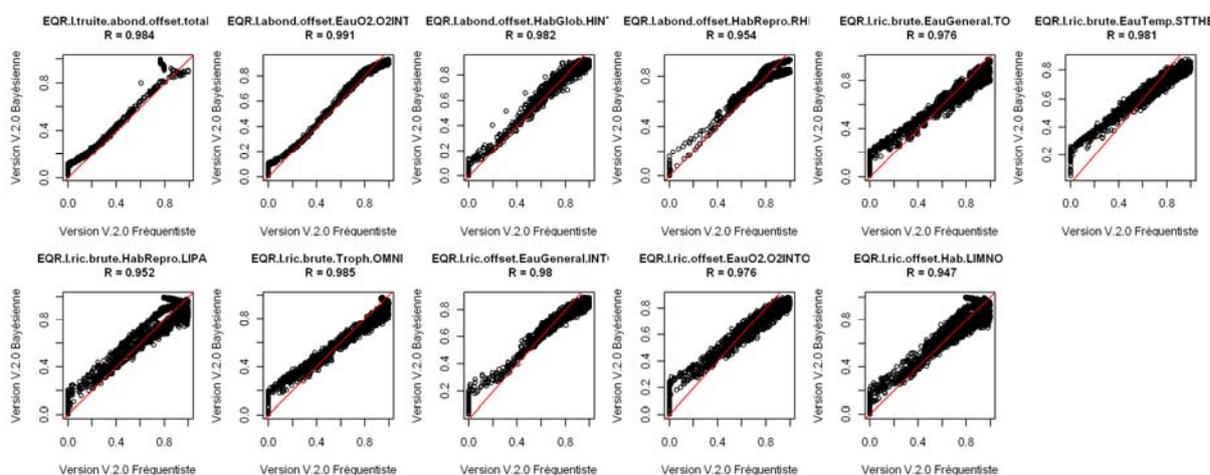


Figure 78 – Relations entre les métriques en EQR de la version V.2.0 de l'IPR+ calculées à partir des statistiques fréquentistes et bayésienne.

De plus, une très bonne corrélation est observée entre les valeurs de l'indice IPR+ calculées par les deux méthodes.

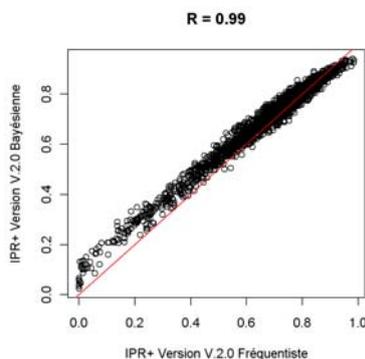


Figure 77 – Relation entre la version V.2.0 de l'IPR+ calculée à partir des statistiques fréquentistes et bayésienne.

## 11.7 Métriques participant au calcul de l'IPR+

Selon les opérations de pêche, les 6 métriques retenues (sur les 10 à 11) pour le calcul de l'IPR+ peuvent varier (Tableau 105).

Tableau 105 – Fréquences d'apparition des métriques participant au calcul de l'IPR+. La proportion des sites pour lesquels une métrique donnée est utilisée pour les sites de référence est comparée aux à celles des sites hautement impactés par différents types de pressions (P4 = pression globale, WQ4 = qualité d'eau, H4 = hydrologie, M4 = morphologie). P-value des comparaisons de proportions (\*\*\*)  $\leq 0,001$ , \*\*  $\leq 0,01$  and \*  $\leq 0,05$ ). > pour une sélection positive, < pour une sélection négative.

Jeu de données	Nb. de sites	abond.offset.truite.total	abond.offset.EauO2.OZINTOL	abond.offset.HabGlob.HINTOL	abond.offset.HabRepro.RHPPAR	ric.brute.EauGeneral.TOL	ric.brute.EauTemp.STTHER	ric.brute.HabRepro.LIPAR	ric.brute.Troph.OMNI	ric.offset.EauGeneral.INTOL	ric.offset.EauO2.OZINTOL	ric.offset.Hab.LIMNO
Référence	266	-	35 %	56 %	62 %	62 %	73 %	32 %	70 %	64 %	73 %	27 %
<b>zones à truite et à ombre</b>												
Référence	188	66 %	23 %	53 %	58 %	65 %	81 %	18 %	74 %	75 %	76 %	10 %
P4 sites	71	ns	> *	ns	< ***	ns	< ***	> *	< ***	< ***	< *	> *
WQ4 sites	56	ns	ns	ns	< *	ns	ns	> *	ns	< ***	< ***	> *
H4 sites	62	ns	ns	ns	< ***	> *	< **	> *	ns	< ***	< ***	> *
M4 sites	54	ns	ns	ns	< **	> *	< ***	> *	ns	< **	< ***	> *
<b>zones à brème et à barbeau</b>												
Référence	78	-	63%	64%	73%	54%	53%	67%	58%	36%	65%	68%
P4 sites	286	-	> *	ns	< ***	ns	> *	ns	< ***	> *	ns	< *
WQ4 sites	72	-	> *	ns	< **	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
H4 sites	78	-	> *	ns	< ***	ns	> *	ns	< **	> *	ns	ns
M4 sites	95	-	> *	ns	< ***	ns	> *	ns	< *	> *	ns	ns

En quasi absence de perturbation, les métriques choisies sont celles correspondant aux guildes naturellement les plus représentées au sein des peuplements piscicoles : abondance RHPAR,

richesse STTHERM, OMNI, TOL, INTOL et O2INTOL. Les métriques les moins représentées correspondent à l'abondance O2INTOL et à la richesse en espèces caractéristiques des milieux lents à stagnants (LIMNO, LIPAR).

Cette composition varie selon le gradient amont-aval : surreprésentation à l'amont des métriques de richesse STTHERM et INTOL, surreprésentation à l'aval de l'abondance O2INTOL et des richesses LIPAR et LIMNO. Cette structure correspond aux résultats obtenus par ailleurs, montrant une organisation fonctionnelle des peuplements sur le gradient amont-aval (Logez *et al.*, 2012).

A l'amont, la métrique classe d'âge Truite est bien représentée.

En présence de pressions fortes, les métriques d'abondance présentent des patrons de réponses comparables sur tous les sites : sélection positive d'O2INTOL, sélection négative de RHPAR. Ce rôle important de l'abondance des espèces O2INTOL n'apparaît pas quand on s'intéresse uniquement à la richesse de cette guild.

À l'inverse, pour les métriques de richesse, les réponses face à un accroissement des pressions divergent entre l'amont et l'aval :

- sélection positive à l'amont des richesses LIPAR et LIMNO ;
- sélection négative à l'amont des richesses STTHER et INTOL ;
- sélection positive à l'aval des richesses STTHER et INTOL ;
- sélection négative à l'aval de LIMNO (significativité plus faible).

À l'aval et pour les pressions prises séparément (qualité de l'eau, hydrologie, morphologie), le schéma est identique pour les métriques d'abondance. Pour les métriques de richesse, on n'observe aucune surreprésentation de métriques pour la qualité de l'eau. Face à des pressions hydro-morphologiques, on constate des résultats similaires aux pressions globales hormis pour la métrique LIMNO.

À l'amont et pour les pressions prises séparément (qualité de l'eau, hydrologie, morphologie), seule la métrique d'abondance RHPAR est sous-représentée. Pour les métriques de richesse, la réponse est comparable à la pression globale hormis :

- une meilleure sensibilité pour la richesse TOL face aux pressions hydro-morphologiques ;
- une absence de surreprésentation pour la richesse STTHER face à l'altération de la qualité de l'eau.

Au final, la sélection des métriques pour le calcul de l'IPR+ est bien fonction du positionnement amont-aval et des types de pression, soit une application vérifiée des principes de sélection des métriques candidates qui ont été appliqués (sélection des métriques parmi les métriques candidates selon les zones et les types de pression).

Ce résultat confirme l'intérêt de ne pas toujours retenir les mêmes métriques pour le calcul de l'IPR+. On observe également bien la spécificité des réponses fonctionnelles aux perturbations hydro-morphologiques par rapport à la dégradation de la qualité de l'eau.

## **11.8 Réponses de l'IPR+ à l'environnement et aux pressions anthropiques**

Un total de 1 654 sites (une opération par site) ont été utilisés pour analyser ces réponses.

L'analyse de la variance a été utilisée afin de tester l'indépendance de l'IPR+ vis-à-vis des variables environnementales (surface du bassin versant, puissance hydraulique, géologie dominante sur le bassin versant, régime hydrographique, température moyenne et amplitude thermique maximale sur une période de 10 ans). Le fait que l'IPR+ et les métriques le composant ne varient pas significativement en fonction des variables environnementales ( $p > 0,05$ ), indique que la part de la variabilité de la composition fonctionnelle du peuplement en lien avec l'environnement a bien été retirée.

Les réponses des notes de l'IPR+ aux perturbations humaines globales, à la dégradation de la qualité de l'eau, aux pressions hydrologiques et morphologiques ont été analysées sur le même jeu de données (figure ci-dessous).

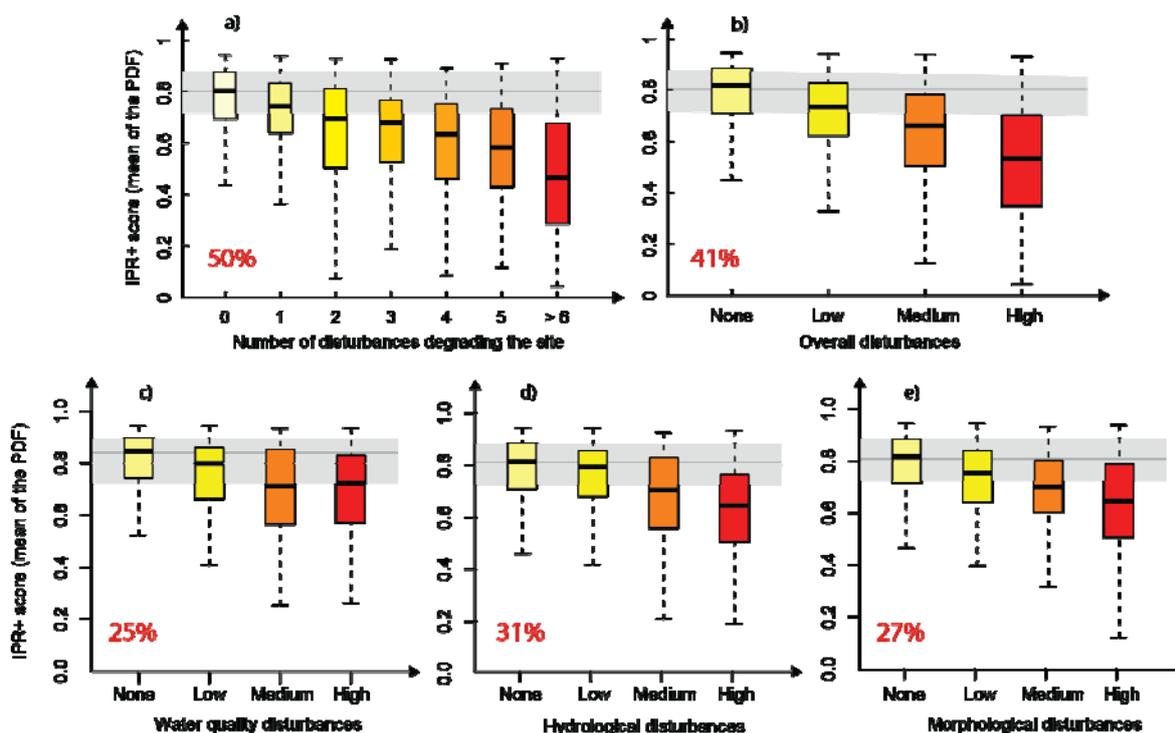


Figure 78 – Réponses de l'IPR+ (a) au nombre de pressions humaines de différents types, (b) à un indice de pression synthétique, (c) à la dégradation de la qualité de l'eau, (d) aux pressions hydrologiques et (e) aux pressions morphologiques. Toutes les réponses sont significatives. En gris : sites de références. Les pourcentages en rouge font référence, à l'efficacité de discrimination de réponse et quantifie son intensité (Ofenböck et al. 2004).

L'IPR+ détecte tous les types de perturbations, mais il est plus spécifiquement sensible aux combinaisons de plusieurs pressions. La réponse la plus forte est obtenue lorsque l'on considère le nombre total de pressions s'exerçant sur les sites. Lorsque le nombre de pressions cumulées est de 5 ou 6, respectivement 68 % et 76 % des sites présentent des valeurs inférieures aux percentiles 25 % de la distribution des sites non perturbés. Une réponse similaire est obtenue avec l'indice de pression global (59 % et 76 %). Les réponses à ces pressions globales s'observent sur la totalité du gradient avec une décroissance significative dès la présence d'une seule pression.

Pour analyser les réponses aux différents types de perturbations, seuls les sites ne présentant pas d'intensité de perturbation élevée hormis la perturbation examinée ont été retenus. L'IPR+ présente une réponse significative aux fortes perturbations de la qualité de l'eau, de l'hydrologie et de la morphologie : respectivement 54 %, 61 % et 61 % des sites avec des valeurs inférieures aux percentiles 25 % de la distribution des sites non perturbés. Pour les pressions morphologiques et de la qualité d'eau, les réponses sont significatives même pour les niveaux de pression faible. Par contre, l'indicateur ne répond significativement aux pressions hydrologiques faibles : il faut des niveaux de pression moyen à fort pour observer une réponse à cette pression.

## 11.9 Harmonisation européenne des limites de classes

### 11.9.1 Établissement provisoires des limites de classes

Avant harmonisation européenne, des bornes provisoires sont établies en se basant sur celles obtenues pour la version V.1.1 de l'indicateur.

Tableau 106 – Limites des classes provisoires de l'IPR+ V.1.1 rendant compte de l'état écologique avant intercalibration.

État écologique	Borne
1-Très bon	]0.855 ; 1.000]
2-Bon	]0.745 ; 0.855]
3-Moyen	]0.497 ; 0.745]
4-Médiocre	]0.248 ; 0.497]
5-Mauvais	]0.000 ; 0.248]

Par la suite, nous avons appliqué l'exercice européen d'intercalibration à l'IPR+ pour harmoniser les bornes de l'indice.

Il faut noter que seuls les sites français de la base de données de l'exercice d'intercalibration appartenant au groupe « Lowland-Midland » sont, pour l'instant, utilisés pour harmoniser l'IPR+. La méthode d'intercalibration utilisée par le groupe « Lowland-Midland » ne nécessite de calculer l'IPR+ que sur les sites français, ce qui ne pose donc aucun soucis. Comme lors de l'harmonisation de l'IPR les stations françaises harmonisées dans le groupe « Lowland-Midland » contiennent en réalité les sites « Lowland-Midland » et « Mediterranean ». Pour le moment, il n'est pas possible d'harmoniser l'IPR+ au sein du groupe « Alpine » car la méthode utilisée au sein de ce groupe nécessite de calculer le nouvel indicateur français sur les sites des autres pays de ce groupe (Allemagne, Autriche et Slovénie) avec tout ce que cela implique en termes de temps de travail pour nos collègues européens.

Pour effectuer l'exercice d'harmonisation, nous avons dû calculer les précipitations annuelles sur le bassin versant (TEMP\_MEAN\_BV\_Y) ainsi que les variables de températures (TEMP\_MEAN\_STA\_Y et TEMP\_AMPL\_STA\_Y) et ce pour tous les sites français de l'intercalibration.

Dans cet exercice, les méthodes du groupe régional sont exprimées en EQR, puis subissent une transformation « piecewise » pour que les bornes des classes de qualités soient égales. Les méthodes nationales sont ensuite régressées en fonction des métriques communes afin d'être comparée dans une même échelle. Pour que le nouvel indice poisson français soit harmonisée, les intervalles de confiance des bornes « très bon »/« bon » (H\_G) et « bon »/« moyen » (G\_M) de l'IPR+ (FR\_IPRplus\_index dans les représentations graphiques et les tableaux) doivent chevaucher la médiane des méthodes nationales du groupe régional. Pour plus de détails concernant la méthode d'harmonisation, il convient de se référer à l'annexe V (Willby, Birk & Bonne, 2010) du guide d'utilisation de l'exercice d'intercalibration européen (Worging Group Ecostat, 2009). Dans le calcul de la médiane du groupe régional, l'IPR+ n'entre pas en compte car il pourrait éventuellement la modifier. Ici ce sont les indices ayant participé à l'exercice d'intercalibration qui rentrent en compte. C'est donc l'IPR et non l'IPR+ qui a pesé dans le calcul de la médiane du groupe (Pont *et al.*, 2011).

### 11.9.2 Vérification des conditions d'harmonisation européenne

Avant toute modification des bornes de l'IPR+, il convient tout d'abord de vérifier que ce dernier respecte bien les conditions de la méthode d'harmonisation. Pour être comparées, les méthodes nationales sont exprimées en métriques communes. Les relations entre les indicateurs et les métriques communes sont présentées ci-après.

Tableau 107 – Résumé de la régression linéaire pour 5 méthodes du groupe d'intercalibration « Lowland-Midland » contre les métriques communes avant modification des bornes.

Méthode	Pente	R	R <sup>2</sup>
BW_IBIP_index	0.897	0.733	0.538
DE_FIBs_index	0.908	0.568	0.323
FR_IPRplus_index	0.900	0.521	0.272
LT_LFI_index	1.259	0.838	0.704
NL_index	1.248	0.656	0.431

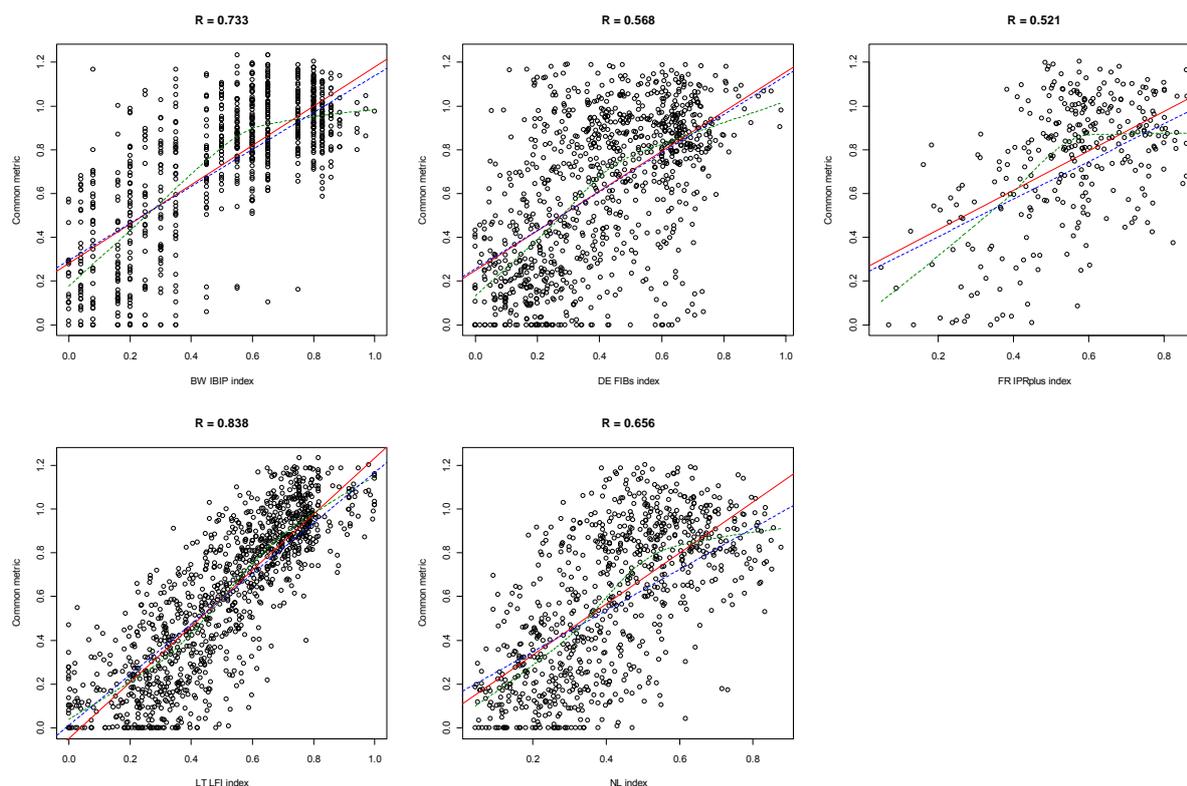


Figure 79 – Régression linéaire classique (en rouge) et les valeurs de corrélation associés, lissage Lowess (en vert) et régression linéaire pondérée (en bleu) pour 5 méthodes du groupe d'intercalibration « Lowland-Midland » contre les métriques communes avant modification des bornes de l'IPR+.

Pour respecter les conditions d'harmonisation, les méthodes doivent présenter une corrélation supérieure à 0,5 avec les métriques communes, ainsi qu'une pente significativement différente de zéro et comprise entre 0,5 et 1,5.

Les conditions d'harmonisation européennes étant remplies, il est donc possible d'effectuer l'harmonisation à l'échelle européenne des bornes des deux plus hautes classes de qualité de l'IPR+.

### 11.9.3 Évaluation de l'accord entre l'IPR+ et les méthodes nationales

On compare ici les bornes H\_G et G\_M de l'IPR+, exprimées en métriques communes, avec les médianes des limites de classes des indices du groupe « Lowland-Midland ». Ceci permet de savoir si les nouvelles bornes françaises sont correctement définies pour rendre compte d'une évaluation écologique comparable à celles des autres méthodes nationales européennes.

Tableau 108 – Valeurs brutes (raw) et valeurs prédites (fit) des bornes H\_G et G\_M avant modification des bornes (et les valeurs de leurs intervalles de confiance associés : inférieure (lwr) et supérieure (upr) qui correspondent à un quart de classe, exprimés en métriques communes).

Méthode	H_G_raw	G_M_raw	H_G_fit	H_G_lwr	H_G_upr	G_M_fit	G_M_lwr	G_M_upr
BW_IBIP_index	23.000	19.000	0.999	0.954	1.044	0.820	0.775	0.865
DE_FIBs_index	3.750	2.500	0.973	0.928	1.019	0.792	0.746	0.837
FR_IPRplus_index	<b>0.885</b>	<b>0.745</b>	<b>0.974</b>	<b>0.929</b>	<b>1.019</b>	<b>0.794</b>	<b>0.749</b>	<b>0.839</b>
LT_LFI_index	0.940	0.720	0.977	0.913	1.041	0.721	0.657	0.785
NL_index	0.760	0.570	1.032	0.973	1.090	0.798	0.740	0.857
Moyenne	-	-	0.984	-	-	0.781	-	-
Médiane	-	-	<b>0.977</b>	-	-	<b>0.792</b>	-	-

On constate que les intervalles de confiance des bornes H\_G et G\_M de l'IPR+ chevauchent la médiane des méthodes nationales du groupe régional. Les limites de classes de l'IPR+ sont très

proches des médianes des autres méthodes européennes. Seule la limite H\_G est légèrement trop basse (à la deuxième décimale). Il convient donc d'effectuer des modifications afin que les intervalles de confiances des bornes de l'IPR+ recouvrent parfaitement les médianes du groupe d'intercalibration.

### 11.9.4 Modifications des bornes des classes de qualité

On tente de positionner les bornes H\_G et G\_M de l'IPR+ sur la médiane du groupe « Lowland-Midland ». Les bornes entre les classes « moyenne », « médiocre » et « mauvaise » sont choisies de sorte à ce que ces 3 classes soient d'amplitudes égales. Après modification des bornes, on vérifie une nouvelle fois que l'IPR+ respecte bien les conditions de la méthode d'harmonisation européenne. En effet, la transformation des bornes peut affecter la distribution des valeurs de l'indice et, par la même, affecter la régression avec les métriques communes.

Tableau 109 – Résumé de la régression linéaire pour 5 méthodes du groupe d'intercalibration « Lowland-Midland » contre les métriques communes après modification des bornes.

Méthode	Pente	R	R <sup>2</sup>
BW_IBIP_index	0.897	0.733	0.538
DE_FIBs_index	0.908	0.568	0.323
FR_IPRplus_index	0.913	0.525	0.276
LT_LFI_index	1.259	0.838	0.704
NL_index	1.248	0.656	0.431

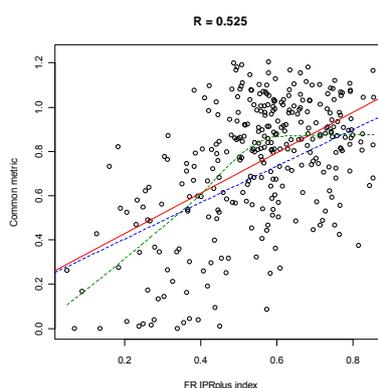


Figure 80 – Régression linéaire classique (en rouge) et les valeurs de corrélation associés, lissage Lowess (en vert) et régression linéaire pondérée (en bleu) pour l'IPR+ au sein du groupe d'intercalibration « Lowland-Midland » contre les métriques communes après modification des bornes.

Les conditions d'harmonisation européennes sont une nouvelle fois remplies. Si les modifications sont suffisantes pour que les bornes de l'IPR+ soient comparables aux autres indices européens, ces dernières seront valides.

Tableau 110 – Valeurs brutes (raw) et valeurs prédites (fit) des bornes H\_G et G\_M après modification des bornes (et les valeurs de leurs intervalles de confiance associés : inférieure (lwr) et supérieure (upr) qui correspondent à un quart de classe, exprimés en métriques communes).

Méthode	H_G_raw	G_M_raw	H_G_fit	H_G_lwr	H_G_upr	G_M_fit	G_M_lwr	G_M_upr
BW_IBIP_index	23.000	19.000	0.999	0.954	1.044	0.820	0.775	0.865
DE_FIBs_index	3.750	2.500	0.973	0.928	1.019	0.792	0.746	0.837
FR_IPRplus_index	<b>0.890</b>	<b>0.740</b>	<b>0.977</b>	<b>0.931</b>	<b>1.022</b>	<b>0.794</b>	<b>0.749</b>	<b>0.84</b>
LT_LFI_index	0.940	0.720	0.977	0.913	1.041	0.721	0.657	0.785
NL_index	0.760	0.570	1.032	0.973	1.090	0.798	0.740	0.857
Moyenne	-	-	0.984	-	-	0.781	-	-
Médiane	-	-	<b>0.977</b>	-	-	<b>0.792</b>	-	-

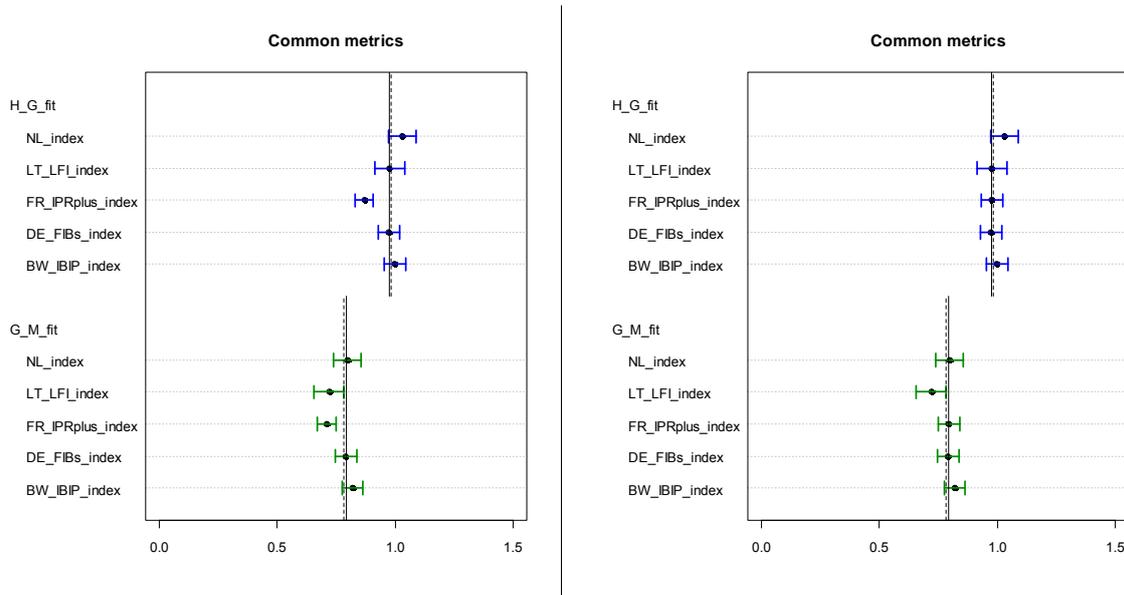


Figure 81 – Graphiques des valeurs prédites des bornes H\_G (en bleu) et G\_M (en vert) et leurs intervalles de confiance respectifs ( $\pm$  un quart de classe) exprimés en métriques communes pour 5 méthodes du groupe d'intercalibration « Lowland-Midland », avant (à gauche) et après (à droite) harmonisation (ligne discontinue : moyenne et ligne continue : médiane).

Après modification des bornes, les intervalles de confiance de l'IPR+ chevauchent bien les médianes du groupe « Lowland-Midland ». Les nouvelles limites de classes de qualité de l'IPR+ sont donc conformes aux exigences de l'intercalibration européenne. Les anciennes et les nouvelles valeurs de bornes des deux plus hautes classes de qualité sont mentionnées dans le tableau ci-après.

Tableau 111 – Bornes High-Good et Good-Moderate avant et après harmonisation.

Méthode	H_G avant	G_M avant	H_G après	G_M après
BW_IBIP_index	23.000	19.000	23.000	19.000
DE_FIBs_index	3.750	2.500	3.750	2.500
FR_IPRplus_index	<b>0.885</b>	<b>0.745</b>	<b>0.890</b>	<b>0.740</b>
LT_LFI_index	0.931	0.710	0.940	0.720
NL_index	0.800	0.600	0.760	0.570

### 11.9.5 Établissement des limites de classes suite à l'harmonisation européenne

Pour les bornes entre les classes 1-2 et 2-3, nous avons effectué l'intercalibration en cherchant à définir la plage de valeurs des bornes acceptables du point de vue de ces normes européennes. Nous proposons, ci-dessous, 3 gammes de bornes pour les 5 classes de l'IPR+ V.1.1 :

- la première retient, pour la limite de classes 1-2, la valeur la plus basse possible par rapport à l'intervalle d'intercalibration européen (Bornes min.) ;
- la deuxième correspond au choix de la valeur médiane (cf. *supra*) de l'intervalle d'intercalibration, c'est-à-dire une position optimale en termes de comparabilité par rapport aux autres méthodes utilisées en Europe (Bornes med.) ;
- la troisième retient, pour la limite de classes 1-2, la valeur la plus haute possible par rapport à l'intervalle d'intercalibration européen (Bornes max.).

À la différence des bornes délimitant les classes 1 et 2, la définition des bornes relatives aux classes 4 et 5 n'est pas soumise aux impératifs de l'intercalibration. Dans notre cas, nous avons opté pour des bornes permettant aux classes 3, 4 et 5 d'avoir des amplitudes égales.

Tableau 112 – Limites des classes de l'IPR+ V.2.0 rendant compte de l'état écologique après intercalibration. Bornes min. : limites de classes en cherchant à situer la limite de classe 1-2 la plus basse possible. Bornes med. : limites de classe 1-2 à la médiane de l'intervalle d'intercalibration. Bornes max. : limites de classes en cherchant à situer la limite de classe 1-2 la plus haute possible.

État écologique	Bornes min.	Bornes med.	Bornes max.
1-Très bon	]0.875 ; 1.000]	]0.890 ; 1.000]	]0.890 ; 1.000]
2-Bon	]0.640 ; 0.875]	]0.740 ; 0.890]	]0.825 ; 0.890]
3-Moyen	]0.427 ; 0.640]	]0.493 ; 0.740]	]0.550 ; 0.825]
4-Médiocre	]0.213 ; 0.427]	]0.247 ; 0.493]	]0.275 ; 0.550]
5-Mauvais	]0.000 ; 0.213]	]0.000 ; 0.247]	]0.000 ; 0.275]

En outre, cette tendance pourrait être amplifiée par les transformations nécessaires pour acquérir un EQR. Les notes sont limitées entre 0 et 1. La transformation *piecewise* contraint les notes des sites entre 0 et 1 et, mécaniquement, leur probabilité d'être à 0 ou 1 est très élevé.

## 11.10 Incertitude de prédiction

Cette incertitude correspond à l'incertitude prédictive. Elle est principalement liée à la prédiction des valeurs des métriques en condition de référence.

L'incertitude prédictive a été mesurée par l'écart-type des distributions des notes IPR+ et des métriques.

Pour plus de précisions, il convient de consulter la thèse de doctorat d'Anahita Marzin (2013).

### 11.10.1 Influence du positionnement amont aval sur l'incertitude

L'incertitude de prédiction de l'IPR+ est similaire en zone amont et en zone aval, ce qui suggère que les modèles ont le même pouvoir prédictif pour les sites en amont et en aval. Les SDU des métriques sont généralement plus élevés que celle de l'IPR+.

### 11.10.2 Influence du niveau d'altération des sites sur l'incertitude

La relation en forme de cloche observée entre les notes IPR+ et les SDU montre que l'incertitude de l'indice est plus petite et moins variable pour les sites fortement impactés et pour ceux non impactés (classes 1 et 5) que pour les sites moyennement impactés (correspondant globalement à la classe de qualité modérée, classe 3).

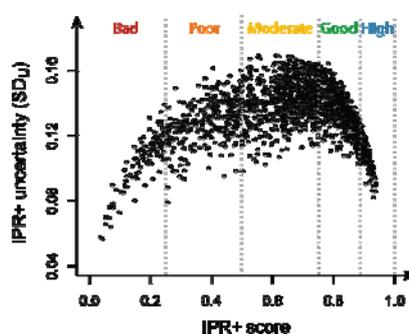


Figure 82 – Variation de l'incertitude de prédiction de l'IPR+ en fonction des notes de l'IPR+. Valeurs de limites de classes non actualisées.

Cette tendance a été confirmée en regard des effets des perturbations anthropiques sur le SDU. Les notes de l'IPR+ sont significativement moins incertaines pour les sites non perturbés et fortement perturbés que pour les niveaux intermédiaires de perturbation. Cette tendance pourrait être amplifiée par les transformations nécessaires pour obtenir un EQR. Les notes sont en effet limitées entre 0 et 1.

La transformation *piecewise* contraint les notes des sites entre 0 et 1 et, mécaniquement, l'incertitude associée aux notes proches de 0 et 1 est réduite.

## 11.11 Variabilité temporelle et incertitude de prédiction

Pour évaluer la variabilité temporelle de l'IPR+ et son importance par rapport à l'incertitude associée à chaque évaluation, nous avons eu recours à 183 séries temporelles de 10 ans complètes (1998-2007) pour lesquelles l'évaluation des pressions ne montre pas de modification durant la chronique.

Pour plus de précisions, il convient de consulter la thèse de doctorat d'Anahita Marzin (2013).



Figure 83 – Localisations des 183 stations servant à l'analyse de la variabilité temporelle de l'IPR+.

Parmi ces 183 sites, on trouve toute la gamme d'intensité de pression. La variabilité temporelle a été mesurée par l'écart-type des notes l'IPR+ et des métriques sur les 10 ans.

Pour ces séries chronologiques de 183 sites, l'incertitude prédictive de l'IPR+ est, en moyenne, plus importante (SDU, 0,70) que la variabilité interannuelle (SDT, 0,14). Par conséquent, dans des conditions stables de perturbations humaines, sur une période de 10 ans (1998-2007), seuls quelques sites montrent une importante différence interannuelle de l'IPR+ (pas de chevauchement des percentiles 2,5 % et 97,5 % des PDF entre deux années de la période).

Ce résultat révèle que, en l'absence de modification des perturbations anthropiques, les notes de l'IPR+ ne varient pas de façon significative entre les années.

L'indicateur apparaît donc comme stable et les changements dans les métriques sélectionnées pour son calcul selon les dates ne l'affecte pas de façon importante.

Les corrélations temporelles de Pearson des notes IPR+ ont été calculées pour les 183 sites au cours de la période 1998-2007. Les notes de l'IPR+ donnent des évaluations cohérentes sur la période 1998-2007 ( $r > 0,74$ ). En accord avec les travaux de Collier (2008) sur le *Macroinvertebrate Community Index*, alors que certaines métriques sont plus stables dans le temps en zone amont que dans les sites de zone aval, la variabilité temporelle de l'IPR+ est semblable le long du gradient amont-aval).

En outre, une augmentation de l'intensité des perturbations d'origine humaine affaiblit la stabilité temporelle de la structure des peuplements de poissons et affecte, par conséquent, la stabilité temporelle des bio-indicateurs reposant sur des métriques fonctionnelles. Ce résultat est en accord avec plusieurs études montrant que les indicateurs étaient moins stables au cours du temps dans des situations dégradées que dans des conditions légèrement perturbés (Fore *et al.*, 1994 ; Ross *et al.*, 1985).

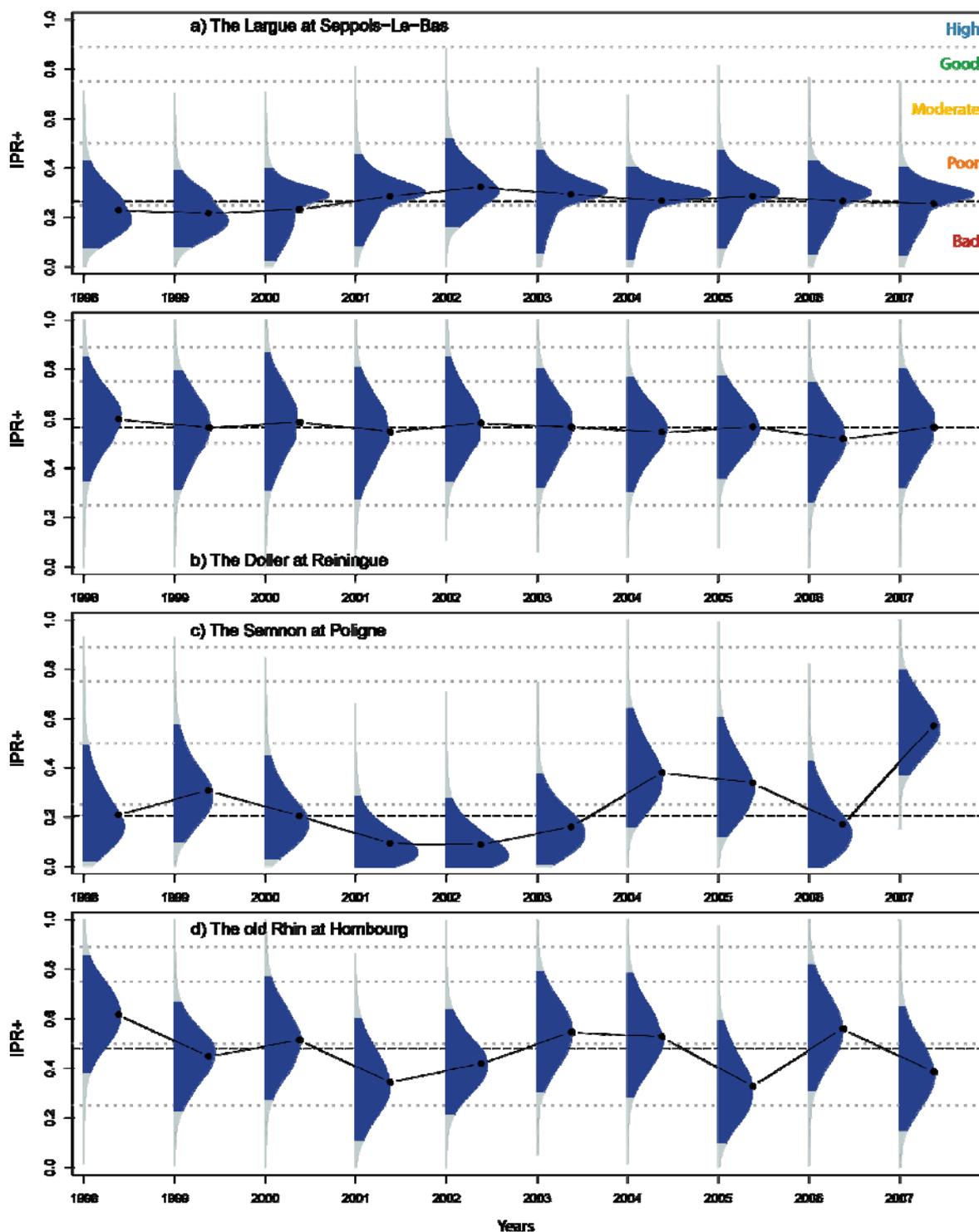


Figure 84 – Exemple de variabilité prédictive et temporelle pour 4 stations. PDF des notes de l'IPR+ pour des chroniques de 10 ans (surface bleue : 95 % de la distribution des notes IPR+ ; surface grise : les 5 % restants ; ligne discontinue horizontale : médiane des notes IPR+ sur 10 ans ; ligne noire continue : notes IPR+ (moyenne des PDF)). Valeurs de limites de classes non actualisées.

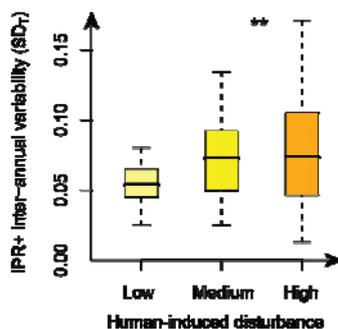


Figure 85 – Variabilité interannuelle de l'IPR+ en fonction de l'intensité des pressions ( $p$ -value < 0,01).

Ces résultats suggèrent que le manque de stabilité temporelle pourrait être une preuve supplémentaire de la dégradation sévère du système.

En outre, probablement en raison de phénomènes de densité-dépendance (Jenkins *et al.*, 1999 ; Kaspersson & Höjesjö, 2009), la métrique de classe de tailles (abondance relative des truites juvéniles) est globalement moins stable dans le temps que les métriques fonctionnelles. Ce résultat est en accord avec des études précédentes suggérant que la structure de l'assemblage fonctionnel est plus stable dans le temps que la composition taxonomique et l'abondance des espèces (Bêche *et al.*, 2006 ; Franssen *et al.*, 2011).

## 11.12 Confiance de classification de l'état écologique

La note finale de l'IPR+ (moyenne des 10 000 itérations) est associée à une des 5 classes de qualité en fonction de sa valeur par rapport aux limites de classes établies en conformité avec l'intercalibration européenne.

Pour la prise de décisions, la chance qu'une note finale IPR+ d'un site donné soit contenue dans une classe d'état dépend de la SDU. L'analyse de la confiance en la classification d'un site tente de répondre à la question suivante : « Est-ce que le site est véritablement au-dessus ou en-dessous de la limite de classe ? ».

Conformément à l'énoncé de Clarke *et al.* (1996), la confiance dans le statut de classe augmente lorsque la distance entre la note et la limite de classe augmente. Étonnamment, il semble qu'il y ait un changement dans la confiance de classification pour la classe 1. Ceci est probablement le résultat de la transformation *piecewise* qui contraint la note entre 0 à 1, avec une note moyenne de 0,8 pour les sites de référence (Pont *et al.*, 2012).

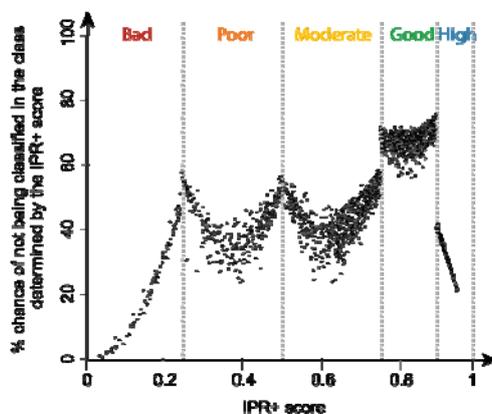


Figure 86 – Confiance de classification de l'état écologique de l'IPR+. Valeurs de limites de classes non actualisées.

Dans la pratique, le calcul de l'incertitude et la distribution des valeurs des 10 000 itérations permet d'associer à la note IPR+ un degré de confiance par rapport à la classe à laquelle il est associé. Dans l'exemple ci-dessous, la note IPR+ (moyenne) à Maisons Meymac appartient à la classe 3 (moyen), mais est proche de la borne entre classes 2 et 3. De ce fait la probabilité du site d'appartenir à la classe 2 est relativement élevée (38 % pour la classe 2 contre 50 % pour la classe 3). À l'inverse, le site de Contigny est clairement classé en très bon état (probabilité de 83 %).

Pour les deux sites de Thouron et de Contigny, les risques de mauvais classement en termes de mauvais/bon états sont très faibles (0 % pour Thouron et 3 % pour Contigny). Dans le cas de Meymac, le risque d'une erreur en classant le site en mauvais état (note IPR+ inférieure à la borne état moyen/bon état) est élevé (46 %).

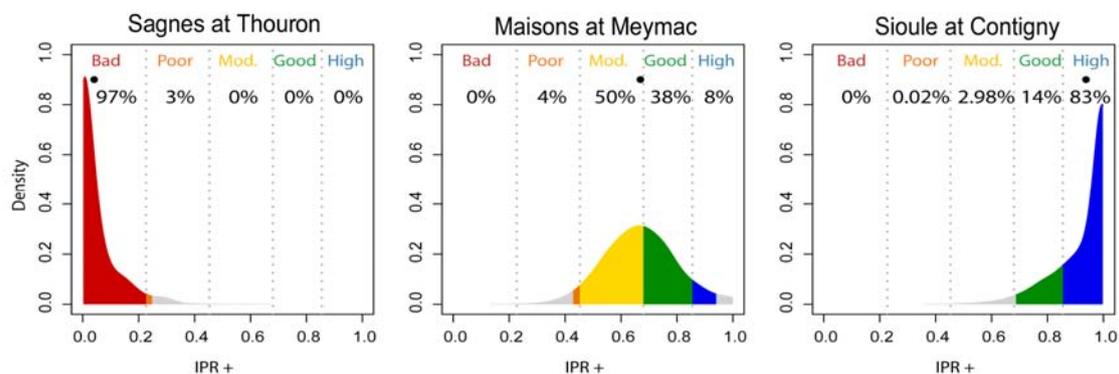


Figure 87 – Exemples de résultats de l'indicateur (\* : note finale de l'IPR+ ; surfaces colorées : distributions des itérations parmi les différentes classes de qualité ; pourcentages : probabilité d'appartenance aux différentes classes de qualité). Valeurs de limites de classes non actualisées.

## 12 Références bibliographiques

- Akaike H. (1974).** A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 19 (6), 716-723.
- Angermeier P.L. & Karr J.M. (1986).** Applying an index of biotic integrity based on stream-fish communities: considerations in sampling and interpretation. *North Am. J. Fish. Manage.*, 6, 418-429.
- Angermeier P.L., Smogor R.A. & Stauffer J.R. (2000).** Regional frameworks and candidate metrics for assessing biotic integrity in Mid-Atlantic Highland streams. *Transactions of the American Fisheries Society*, 129, 962-981.
- Bady P., Pont D., Logez M. & Veslot J. (2009).** Improvement and spatial extension of the European Fish Index. Deliverable 4.1: Report on the modelling of reference conditions and on the sensitivity of candidate metrics to anthropogenic pressures. Deliverable 4.2: Report on the final development and validation of the new European Fish Index and method, including a complete technical description of the new method, 180 p.
- Bailey R.C., Kennedy M.G., Dervish M.Z. & Taylor R.M. (1998).** Biological assessment of freshwater ecosystems using a reference condition approach: comparing predicted and actual benthic invertebrate communities in Yukon streams. *Freshwater Biology*, 39, 765-774.
- Bêche L.A., McElravy E.P. & Resh V.H. (2006).** Long-term seasonal variation in the biological traits of benthic-macroinvertebrates in two Mediterranean-climate streams in California, U.S.A. *Freshwater Biology*, 51(1), 56-75.
- Belliard J., Beslagic S, Demougin V., Delaigue O. & Pont D. (2011).** Développement d'une métrique basée sur les espèces migratrices. ONEMA-Cemagref. Partenariat 2010. Action 5.2. Rapport final. 20 p.
- Benichou P. & Le Breton O. (1987).** Prise en compte automatique de la topographie pour la cartographie des champs pluviométriques statistiques. *La Météorologie*, 7 (19), 23-34.
- Bourgin P.Y., Lobligeois F., Peschard J., Andréassian V., Le Moine N., Coron L., Perrin C., Ramos H. & Khalifa A. (2011).** Description des caractéristiques morphologiques, climatiques et hydrologiques de 4 436 bassins versants français, 35 p.
- Brooks S.P., Catchpole E.A., Morgan B.J.T., Harris M., (2002).** Bayesian Methods for Analyzing Ringing Data. *Journal of Applied Statistics*, 29, 187-206.
- Brooks S.P. & Gelman A. (1998).** General Methods for Monitoring convergence of iterative simulations. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 7 (4), 434-455.
- Cameron A.C. & Trivedi P.K. (1998).** *Regression Analysis of Count Data*, Econometric Society Monograph, 30, Cambridge University Press.
- Clarke R.T., Furse M.T., Wright J.F. & Moss D. (1996).** Derivation of a biological quality index for river sites: Comparison of the observed with the expected fauna. *Journal of Applied Statistics*, 23(2-3), 311-32.
- Collier K.J. (2008).** Temporal patterns in the stability, persistence and condition of stream macroinvertebrate communities: relationships with catchment land-use and regional climate. *Freshwater Biology*, 53(3), 603-16.
- Davidson A.C. & Hinkley D.V. (1997).** Standard deviation from the multivariate delta method. *Booststrad Methods and Their Application*, 45-46.
- EFI+ Consortium (2009).** Improvement and Spatial extension of the European Fish Index (EFI+), URL <http://efi-plus.boku.ac.at/>.
- Faraway J.J. (2006).** *Extending the linear model with R: generalized linear, mixed effects and nonparametric regression models*, Chapman & Hall/CRC, New York.

- Fore L.S., Karr J.R. & Conquest L.L. (1994).** Statistical Properties of an Index of Biological Integrity Used to Evaluate Water-Resources. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 51(5), 1077-87.
- Franssen N.R., Tobler M. & Gido K.B. (2011).** Annual variation of community biomass is lower in more diverse stream fish communities. *Oikos*, 120(4), 582-90.
- Froese R. & Pauly D. editors (2010).** FishBase. World Wide Web electronic publication. URL <http://www.fishbase.org>, version (07/2010).
- Gelman A., Carlin J. B., Stern H.S., & Rubin D.B. (2004).** Bayesian Data Analysis, 2nd ed. London: Chapman and Hall.
- Guigo M. & Vivian H. (1995).** Les régimes des cours d'eau, carte commentée In: Wiebar J.C., Milieux et Ressources, Atlas de France, 6, 98-101. Coll. Atlas de France, Brunet R. et Auriac F., eds., GIP Reclus, La Documentation française, Paris.
- Hardin J.W. & Hilbe J.M. (2007).** Generalized Linear Models and Extensions (2nd Edition). Stata Press.
- Hartigan J.A. & Wong M.A. (1979).** A K-means clustering algorithm. *Applied Statistics*, 28, 100-108.
- Holzer S. (2008).** European fish species: Taxa and guilds classification regarding fish-based assessment methods. Ph.D. thesis. Wien: Universität für Bodenkultur. 195 p
- Huet M. (1954).** Biologie, profils en long et en travers des eaux courantes. *Bull. Fr. Piscicult.*, 175, 41-53.
- Hughes R.M., Kaufmann P.R., Herlihy A.T., Kincaid T.M., Reynolds L. & Larsen D.P. (1998).** A process for developing and evaluating indices of fish assemblage integrity. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 55, 1618-1631.
- International Organization for Standardization (1975).** Standard Atmosphere, ISO 2533:1975.
- Jenkins T.M., Diehl S., Kratz K.W. & Cooper S.D. (1999).** Effects of population density on individual growth of brown trout in streams. *Ecology*, 80(3), 941-56.
- Jungwirth M., Muhar S. & Schmutz S. (2002).** Re-establishing and assessing ecological integrity in riverine landscape. *Freshwater Ecology*, 47, 867-887.
- Kaspersson R. & Hojesjo J. (2009).** Density-dependent growth rate in an age-structured population: a field study on stream-dwelling brown trout *Salmo trutta*. *Journal of Fish Biology*, 74(10), 2196-215.
- Karr J.R. (1981).** Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries*, 6, 21-27.
- Lecointre G. & Le Guyader H. (2009).** Classification phylogénétique du vivant, troisième édition, augmentée et corrigée, Belin, Paris, ISBN 2-7011-4273-3, 560 p.
- Logez M., Bady P. & Pont D. (2012a).** Modelling the habitat requirement of riverine fish species at the European scale: sensitivity to temperature and precipitation and associated uncertainty. *Ecology of Freshwater Fish*, 21, 266-282.
- Logez M., Belliard J., Melcher A., Kremser H., Pletterbauer F., Schmutz S. & Pont D. (2012b).** Deliverable D5.1-3: BQE's sensitivity to global/climate change in European rivers: implications on reference conditions and pressure-impact-recovery chains. Antony, France: Irstea, 153 p.
- Logez M. & Pont D. (2011).** Variation of brown trout *Salmo trutta* young-of-the-year growth along environmental gradients in Europe. *Journal of Fish Biology*, 78: 1269-1276. doi: 10.1111/j.1095-8649.2011.02928.x
- McCarthy M.A. (2007).** Bayesian Methods for Ecology. Cambridge University Press, Cambridge.
- McCullagh P. & Nelder J.A. (1989).** Generalized Linear Models, second edition edn. Chapman & Hall/CRC, London.

- McCulloch C.E. & Searle S.R. (2001).** Generalized, Linear, and Mixed Models, second ed. Wiley, New York.
- Marzin A. (2013).** Ecological assessment of running waters using bio-indicators: associated variability and uncertainty. Thèse de doctorat, 210 p.
- Microsoft Corporation, 2003.** Microsoft Office Access, URL <http://office.microsoft.com/en-us/access/>.
- Mitchell T.D., Carter T.R., Jones P.D. Hulme M. & New M. (2004).** A comprehensive set of climate scenarios for Europe and the globe: the observed record (1901-2000) and 16 scenarios (2001-2100). Tyndall Centre Working Paper, 55, 30 p.
- Nelder J.A. & Wedderburn R. (1972).** Generalized Linear Models. Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General), 135, 370-384.
- Oberdorff T., Pont D., Hugueny B. & Chessel D. (2001).** A probabilistic model characterizing fish assemblages of French rivers: a framework for environmental assessment. Freshwater Biology, 46, 399-415.
- Oberdorff T., Pont D., Hugueny B. & Porcher J.P. (2002).** Development and validation of a fish-based index for the assessment of 'river health' in France. Freshwater Biology 47, 1720-1734.
- Ofenböck T., Moog O., Gerritsen J. & Barbour M. (2004).** A stressor specific multimetric approach for monitoring running waters in Austria using benthic macroinvertebrates. Hydrobiologia, 516, 251-268.
- Parlement européen & Conseil européen (2000).** Directive 2000/60/CE établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau. JO L 327 du 22.12.2000, 1-73.
- Pont D. éditeur (2003).** Conséquences potentielles du changement climatique sur les biocénoses aquatiques et riveraines français. Programme AQUABIO. Rapport au MEEP-GICC. Rapport final. 382 p.
- Pont D. éditeur (2006).** Conséquences du changement global sur la distribution et la démographie du Chabot (*Cottus gobio*). Une approche intégrative. Rapport à l'Institut français de la biodiversité et le MEED-GICC 107 p.
- Pont D., Delaigue O., Beers M., Breine J., Buijse T., Caiola N., Carrasco I., Dahlberg M., Demol T., Duncan W, Dussling U, Ferrera T., Iliescu S., Horky P., Kelly F., Kovac V., Roset N., Schabuss M., Segurado P., Schuetz C., Storey G., Urbanic G., Vehanen T., Virbickas T., Zogaris S. (2011).** River Fish Intercalibration Group WFD Intercalibration Phase 2: Milestone 6 report. Report to the European community. 105 p.
- Pont D., Hughes R.B., Whittier T.R. & Schmutz S. (2009).** A Predictive Index of Biotic Integrity Model for Aquatic-Vertebrate Assemblages of Western U.S. Streams. Transaction American Fisheries Society, 138, 292-305.
- Pont D., Hugueny B., Beier U., Goffaux D., Melcher A., Noble R., Rogers C., Roset N. & Schmutz S. (2006).** Assessing river biotic condition at the continental scale: a European approach using functional metrics and fish assemblages. Journal of Applied Ecology, 43, 70-80.
- Pont D., Hugueny B. & Rogers C. (2007).** Development of a fish-based index for the assessment of "river health" in Europe: the European Fish Index (EFI). Fisheries Management and Ecology, 4, 427-439.
- Punt A.E., Hilborn R. (1997).** Fisheries stock assessment and decision analysis: the Bayesian approach. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 7, 35-63.
- Quintana-Segui P., Le Moigne P., Durand Y., Martin E., Habets F., Baillon M., Canellas C., Franchisteguy L. & Morel S. (2008).** Analysis of near-surface atmospheric variables: validation of the SAFRAN analysis over France. J. Appl. Meteor. Climatol., 47, 92-107.
- R Development Core Team (2009).** R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.

- Rogers C. & Pont D. (2005).** Création de base de données thermiques devant servir au calcul de l'Indice poissons normalisé. Rapport final. UMR CNRS 5023, Université Claude Bernard Lyon 1, 33 p.
- Roset N., Grenouillet G., Goffaux D., Pont D. & Kestemont P. (2007).** A review of existing fish assemblage indicators and metrics. *Fisheries Management and Ecology*, 14, 393-405
- Ross S.T., Matthews W.J. & Echelle A.A. (1985).** Persistence of Stream Fish Assemblages - Effects of Environmental-Change. *American Naturalist*, 126(1), 24-40.
- Sauquet E. (2006).** Cartographie des écoulements mensuels moyens en France, 41 p.
- Simon T.P. (1999).** Assessment Approaches for Estimating Biological Integrity using Fish Assemblages. Lewis Press, Boca Raton, FL, USA.
- Spiegelhalter D.T.A., Best N., & Lunn D. (2003).** WinBUGS user manual. Version 1.4. Available at <http://www.mrc-bsu.cam.ac.uk/bugs>.
- Stoddard J.L., Larsen D.P., Hawkins C.P., Johnson R.K. & Norris R.H. (2006).** Setting expectations for the ecological condition of streams: the concept of reference condition. *Ecological Applications*, 16 (4), 1267:1276.
- Tenenhaus M. & Young F.W. (1985).** An analysis and synthesis of multiple correspondence analysis, optimal scaling, dual scaling, homogeneity analysis and other methods for quantifying categorical multivariate data. *Psychometrika*, 50 (1), 91-119.
- Turc L. (1954).** Le bilan d'eau des sols, relation entre les précipitations, l'évaporation et l'écoulement. *Annales agronomiques*, 5, 491-596.
- Tyndall Centre for Climate Change Research & Climatic Research Unit (2003).** University of East Anglia, Norwich NR4 7TJ, UK, URL [http://www.cru.uea.ac.uk/~timm/grid/CRU\\_TS\\_1\\_2.html/](http://www.cru.uea.ac.uk/~timm/grid/CRU_TS_1_2.html/).
- Venables W.N. & Ripley B.D. (1999).** Modern Applied Statistics with S-plus, Third edition, Statistics and computing, Springer-Verlag, New York.
- Vidal J.P., Martin E., Franchistéguy L., Baillon M. & Soubeyrou J.M. (2010).** A 50-year high-resolution atmospheric reanalysis over France with the Safran system. *International Journal of Climatology*, 30, 1627-1644. doi: 10.1002/joc.2003
- Wallin M., Wiederholm T. & Johnson R.K. (2003).** Final guidance on establishing reference conditions and ecological status class boundaries for inland surface waters. EU Common Implementation Strategy (CIS) for the Water Framework Directive.
- Wasson J.G., Villeneuve B., Mengin N., Pella H. & Chandesris A. (2006).** Quelle limite de « bon état écologique » pour les invertébrés benthiques en rivière? Apport des modèles d'extrapolation spatiale reliant l'IBGN à l'occupation du sol. *Ingénieries, Eau, Agriculture et Territoires*, 47, 3-15.
- Working Group Ecostat (2009).** Implementation strategy for the Water Framework Directive (2000/60/Ec) Guidance document no. 14. Guidance document on the intercalibration process 2008-2011, 55 p.
- Willby N., Birk S. & Bonne W. (2010).** IC Guidance Annex V: Definition of comparability criteria for setting class boundaries, 22 p.

## 13 Annexes

### 13.1 Annexe 1 : Description des pressions

La liste des pressions retenues et leur description se base sur le travail effectué dans le cadre du programme européen EFI+. Cependant, cette liste a été révisée par les ingénieurs réseaux de l'ONEMA et l'IRSTEA (Nicolas Roset, Laurence Blanc, Jérôme Belliard & Crane Rogers) afin de prendre en compte autant que possible les remarques faites par les agents, en liaison avec la disponibilité des informations et/ou leur fiabilité. Un petit nombre de variables ont dès lors été modifiées.

En théorie, les descripteurs de pressions sont associés aux opérations (station/date ou période), autrement dit, ils sont susceptibles d'évoluer dans le temps, d'une saison ou d'une année à l'autre ou par période. En pratique, compte tenu du caractère synthétique et global de l'expertise, on fait l'hypothèse que ces caractéristiques peuvent, dans un premier temps, se rapporter à la station. Toutefois, si une évolution notable de la qualité du milieu est connue et caractérisable, on peut différencier dans ce cas des années ou des périodes, en recopiant la ligne « station » autant de fois que nécessaire et en indiquant dans la colonne « PERIOD » l'année (1995, 2001...) ou la période concernée (1995-2001 ; 1970-1980...)

Pour la plupart des variables proposées, l'échelle de description est le tronçon défini plus haut. Pour quelques paramètres (voir précisions), l'évaluation est faite à une échelle supérieure (bassin, sous-bassin) ou inférieure (la station).

Par soucis d'homogénéité, nous nous sommes efforcés, autant que possible, de choisir un libellé standard pour les modalités de la plupart des paramètres, en partant de l'hypothèse que l'on peut différencier 4 grands états :

- niveau 1 (modalité « Nul » par la suite) : correspond à l'absence de pression, ou du moins l'absence de manifestation ou de signe observable/mesurable ;
- niveau 2 (modalité « Faible » par la suite) : correspond à l'existence d'une perturbation observable/ connue mais d'intensité et/ou d'étendue faible ;
- niveau 3 (modalité « Moyen » par la suite) : correspond à l'existence d'une pression significative d'intensité et/ou d'étendue jugées intermédiaires ;
- niveau 4 (modalité « Fort » par la suite) : correspond à l'existence avérée d'une pression d'intensité et/ou d'étendue jugée forte. Il n'y a pas de doute sur des effets potentiels nets sur l'écosystème dans son ensemble.

#### **Altérations de la connectivité longitudinale**

Les ruptures de connectivité sont décrites à deux échelles : « bassin aval » d'un côté, c'est à dire de la station jusqu'à la mer, et « tronçon » de l'autre, c'est à dire au sein même du tronçon encadrant la station.

La notion de barrière à la migration prend en compte l'existence d'un ouvrage (barrage, seuil) et plus globalement toute modification du cours d'eau entraînant une réduction importante ou une suppression totale des possibilités de déplacement des espèces soit diadromes (migration eau douce/mer obligatoire) considérées en premier lieu pour le niveau « bassin aval » ; soit potamodromes pour le niveau « tronçon » (ou encore diadromes lorsqu'elles sont présentes), en considérant les espèces les plus typiques du secteur de cours d'eau, connues pour effectuer des déplacements de reproduction (truite, barbeau, hotu, lote, brochet...).

**BarMer** : présence d'obstacle (non naturel) à la migration à l'aval de la station, et jusqu'à la mer.

Modalités :

- **Non** (pas d'obstacle infranchissable pour la plupart des espèces, la plupart du temps ; inclut le cas où un dispositif de franchissement fonctionne pour la plupart des migrateurs amphihalins pris en compte) ;
- **Partiel** (présence d'au moins une barrière significative entre la station et la mer, mais franchissement possible pour de bons nageurs dans certaines conditions, notamment dispositif de franchissement fonctionnel à certaines périodes clefs. La possibilité de franchissement peut être limitée à certaines conditions hydrologiques favorables (saison ou années), sans être exceptionnelles. Autrement dit si les espèces migratrices visées arrivaient en aval de l'ouvrage étudié, on considère qu'une partie serait capable de franchir l'obstacle assez régulièrement.) ;
- **Oui** (présence d'une barrière infranchissable pour la plupart des espèces la plupart du temps. Autrement dit, si les espèces migratrices visées arrivaient en aval de l'ouvrage en question, la plupart ne pourraient pas franchir l'obstacle, même dans des conditions hydrologiques favorables).

**BarAmt** : présence d'obstacle (non naturel) dans le tronçon à l'amont de la station.

Modalités :

- **Non** (pas d'obstacle infranchissable pour la plupart des espèces, la plupart du temps ; inclut le cas où un dispositif de franchissement fonctionne pour la plupart des espèces prises en compte) ;
- **Partiel** (présence d'au moins un obstacle significatif, mais franchissement possible pour de bons nageurs dans certaines conditions, notamment dispositif de franchissement fonctionnel à certaines périodes clefs. La possibilité de franchissement peut être limitée à certaines conditions hydrologiques favorables (saison ou années), sans être exceptionnelle. Autrement dit, si les espèces migratrices visées arrivaient en aval de l'ouvrage étudié, on considère qu'une partie serait capable de franchir l'obstacle assez régulièrement.) ;
- **Oui** (présence d'une barrière infranchissable pour la plupart des espèces la plupart du temps. Autrement dit si les espèces migratrices visées arrivaient en aval de l'ouvrage en question, la plupart ne pourraient pas franchir l'obstacle, même dans des conditions hydrologiques favorables).

**BarAv** : présence d'obstacle (non naturel) dans le tronçon à l'aval de la station.

Modalités :

- **Non** (pas d'obstacle infranchissable pour la plupart des espèces, la plupart du temps ; inclut le cas où un dispositif de franchissement fonctionne pour la plupart des espèces prises en compte) ;
- **Partiel** (présence d'au moins un obstacle significatif, mais franchissement possible pour de bons nageurs dans certaines conditions, notamment dispositif de franchissement fonctionnel à certaines périodes clefs. La possibilité de franchissement peut être limitée à certaines conditions hydrologiques favorables (saison ou années), sans être exceptionnelle. Autrement dit, si les espèces migratrices visées arrivaient en aval de l'ouvrage étudié, on considère qu'une partie serait capable de franchir l'obstacle assez régulièrement.) ;
- **Oui** (présence d'une barrière infranchissable pour la plupart des espèces la plupart du temps. Autrement dit si les espèces migratrices visées arrivaient en aval de l'ouvrage en question, la plupart ne pourraient pas franchir l'obstacle, même dans des conditions hydrologiques favorables).

**NbAmt** : nombre d'obstacles dans le tronçon à l'amont de la station (0 : absence d'obstacle).

**NbAv** : nombre d'obstacles dans le tronçon à l'aval de la station (0 : absence d'obstacle).

## Altérations hydrologiques

On entend par « hydrologique » toute modification directe (prélèvement, ouvrage de dérivation de retenue/restitution...) ou indirecte (retenue collinaire) du régime des débits.

Ces évaluations dépassent l'échelle de la station et du tronçon et prennent en compte ce qui se passe plus en amont, que ce soit sur le cours d'eau lui-même ou au niveau du bassin versant

**HydroRegimModif** : le régime des débits (= hydrogramme) est modifié (*i.e.* surtout ses variations saisonnières et éventuellement inter-annuelles) au niveau de la station, par des pressions pouvant être localisées dans des tronçons en amont sur le même cours d'eau, liées par exemple au fonctionnement de barrages (stockage/déstockage), ou à des activités/aménagements importants sur le bassin (retenue collinaire, modification forte de l'occupation des sols), dont les effets sont perceptibles au niveau de la station.

*Modalités :*

- **Nul** (*pas de vérifiable modification significative du régime des débits*) ;
- **Faible** (*effet notable, impact limité ou difficile à évaluer*) ;

Ex. : barrages de petite dimension à faible capacité de stockage ; maintien d'un débit peu différent du débit naturel la plupart du temps, modification de faible ampleur de l'occupation des sols, présence sporadique de retenues collinaires de faible capacité.

- **Moyen** (*effet appréciable, situation intermédiaire — modification limitée en intensité ou dans le temps*) ;
- **Fort** (*effet net, impact potentiellement fort = les variations naturelles saisonnières sont nettement déstabilisées ou tamponnées*).

*Ex. : grands barrages induisant des variations modifiant fortement le régime naturel (écrêtement des crues, réduction des étiages, irrégularité permanente ou « aplanissement » des variations), occupations des sols modifiées à large échelle (agriculture, urbanisation) sur le bassin versant et conduisant à accélérer le ruissellement et à augmenter rapidement le débit lors des précipitations, retenues collinaires à fortes capacités et/ou en densité importante tamponnant significativement les variations saisonnières (crues limitées, étiages moins importants).*

**HydroEclus** : la station est soumise à des variations du débit du fait de manœuvre de barrages situés en amont (et potentiellement éloignés) :

*Modalités :*

- **Nul** (*pas d'ouvrage et de manœuvre de ce type en amont*) ;
- **Faible** (*existence de manœuvre(s) de barrage(s) en amont ; l'impact sur la station est relativement limité car ces manœuvres sont peu fréquentes (mensuelles ou encore moins), et/ou le barrage est situé plus en amont et des confluences d'importance permettent d'en compenser les effets*) ;
- **Moyen** (*effet appréciable, situation intermédiaire (modification limitée en intensité ou dans le temps)*) ;
- **Fort** (*manœuvre de barrages générant des variations importantes (plusieurs dizaines de centimètres) et/ou fréquentes (journalières, hebdomadaires) du niveau d'eau*).

**HydroQres** : la station est en situation de débit réservé ; elle est située dans un tronçon court-circuité (lit naturel) en aval d'un barrage, ou plus globalement en parallèle à une dérivation (aval d'une prise d'eau) qui détourne une part significative du débit (au moins 20 %).

*Modalités :*

- **Nul** (*pas de débit réservé ou dérivation négligeable du débit (moins de 20 %)*) ;
- **Faible** (*situation en débit réservé, la règle de maintien du 10<sup>e</sup> du module est respectée*) ;
- **Moyen** (*situation en débit réservé, la règle de maintien du 40<sup>e</sup> du module est respectée*) ;
- **Fort** (*situation en débit réservé, le débit réservé est rarement respecté ou jugé insuffisant biologiquement*).

RQ : l'évaluation est faite à l'échelle de la station.

**HydroPrelev** : il s'agit d'évaluer l'importance des prélèvements et leurs principales conséquences à savoir l'accentuation des étiages.

*Modalités :*

- **Nul** (pas de prélèvement, du moins leurs effets (petits captages dispersés par exemple) ne sont pas perceptibles sur le débit du tronçon (réduction du débit inférieure à 10 %)) ;
- **Faible** (existence de prélèvements dispersés sur le cours d'eau ou le bassin amont et dont la somme ne constitue pas un manque significatif (réduction du débit de l'ordre de 10-30 %)) ;
- **Moyen** (existence de prélèvements sur le cours d'eau ou le bassin amont dont la somme ne constitue pas un manque significatif (30-50 %), notamment en période d'étiage ou de reproduction pour les espèces élective du site) ;
- **Fort** (les pompages constituent une caractéristique majeure dans la zone géographique située en amont de la station — la réduction du débit au niveau de la station est potentiellement forte (> 50 %) et peut conduire jusqu'à des assecs en période d'étiage).

RQ : l'évaluation est faite à l'échelle de la station. Par ailleurs, il est important de raisonner relativement au type de cours d'eau et à son débit naturel — prendre en compte par exemple l'existence d'étiages naturellement sévères en zone méditerranéenne, et l'existence d'asec (perte) en milieu karstique.

### Altérations morphologiques

**MorphoFaciesRete** : retenue, mise en bief. La station est située dans un tronçon dont le faciès dominant est une lame d'eau nettement ralentie et approfondie (relativement aux faciès naturels), du fait de la présence d'un seuil ou d'un barrage en aval.

Modalités :

- **Nul** (pas de seuil, barrage ou aménagement équivalent générant un approfondissement et /ou un ralentissement de la lame d'eau) ;
- **Faible** (présence d'un seuil ou d'un barrage, mais la station est suffisamment éloignée ou de faible ampleur, pour que l'influence soit réduite et qu'une certaine diversité de faciès soit maintenue (= modalité moyenne REH-ligne d'eau) ;
- **Moyen** (présence d'un seuil ou d'un barrage, provoquant un approfondissement et un ralentissement sur une part significative du tronçon (>30 %) ;
- **Fort** (présence d'un seuil ou d'un barrage produisant un approfondissement et un ralentissement important en amont, ayant pour conséquence une forte homogénéisation des faciès d'écoulement sur la majeure partie du tronçon (quasiment seul faciès homogène sur tout le tronçon/station).

**MorphoFaciesAccel** : ce paramètre est le pendant du précédent. Il correspond à une banalisation des faciès d'écoulement caractérisée par un accroissement de vitesse due à une réduction de largeur par endiguement, rectification (réduction de la sinuosité) ou en aval immédiat d'un barrage.

Modalités :

- **Non** (pas d'accroissement de la vitesse de l'écoulement) ;
- **Oui** (accroissement de la vitesse de l'écoulement).

**MorphoBerge** : évaluation du degré d'artificialisation des berges sur le tronçon en combinant à la fois la proportion du linéaire touché (cumuler les deux berges) et le type d'artificialisation.

Modalités :

- **Nul** (pas de modifications sur le tronçon autre que localisées (= stabilisation de ponts... ; < 10 % du tronçon) ;
- **Faible** (une part significative du linéaire des berges du tronçon est artificialisée (10-30 %) par des matériaux sans porosité n'offrant aucun abri à la faune piscicole ;
- **Moyen** (une part appréciable du linéaire des berges du tronçon est artificialisée (30-50 %) par des matériaux sans porosité n'offrant aucun abri à la faune piscicole ; ou linéaire plus important (< 50 %) artificialisé par des matériaux offrant un abri (type blocs) ;
- **Fort** (plus d'un tiers du linéaire est artificialisé (> 30 %), principalement par des matériaux de faible porosité ; ou linéaire plus important (> 50 %) artificialisé par des matériaux offrant un abri).

**MorphoRipisyl** : évaluation des effets d'un entretien excessif de la végétation ou de l'artificialisation étendue des rives sur le tronçon.

Modalités :

- **Nul** (pas de modification appréciable de la végétation rivulaire par rapport à la situation naturelle présumée (ou absence naturelle de ripisylve) ;
- **Faible** (la ripisylve a été supprimée sur quelques portions du tronçon (< 30 % cumulé) ;
- **Moyen** (maintien d'un rideau arbustif fin et de faible densité et/ou dispersé (ripisylve modifiée sur 30 à 50 % en linéaire);
- **Fort** (suppression quasi-totale de la végétation rivulaire (ripisylve supprimée sur au moins 50 % du linéaire).

**MorphoColmat** : évaluation de l'importance du colmatage sur la station pêchée (RQ : l'évaluation à l'échelle du tronçon paraît malaisée). On entend par colmatage la présence d'une couche significative de sédiment fin (limon, argile, ou vase) dont la composante organique peut être variable (RQ : différence par rapport à EFI+ qui différencie minéral et organique). Ces apports peuvent être liés indifféremment à une érosion accrue du fait d'une modification de l'occupation des sols et des activités humaines (pratiques agricoles...), aux effets de vidanges de barrage ou encore à une épuration défaillante (absence ou dysfonctionnement).

Modalités :

- **Nul** (pas de colmatage sur une surface significative de la station (< 10 % de la surface de la station)) ;
- **Faible** (une part significative mais limitée de la surface de la station est colmatée (10-30 %), essentiellement par des fines minérales ou un développement biologique) ;
- **Moyen** (une part appréciable de la surface de la station est colmatée (30-50 %), et/ou la fraction organique est significative);
- **Fort** (la majeure partie de la station est colmatée (> 50 % en surface), et/ou la fraction organique est dominante).

**MorphoRectif** : modification globale du tracé du cours d'eau, rectification, recoupement de méandres, toute réduction de la sinuosité du lit.

Modalités :

- **Nul** (pas de modification sur le tronçon) ;
- **Intermédiaire** (certains secteurs ont été modifiés ponctuellement sur le tronçon (moins d'un tiers en linéaire)) ;
- **Rectifié** (réduction forte de la sinuosité, chenal quasi rectiligne).

**MorphoRecal** : chenalisation/recalibrage = altération de la section du cours d'eau et de la diversité des profils sur le tronçon, sans nécessairement de modification du tracé en long (cf. Rectification)

- **Nul** (pas de modification significative sur le tronçon) ;
- **Intermédiaire** (quelques secteurs ont été modifiés (curage et travaux léger) ponctuellement sur le tronçon (moins d'un tiers en linéaire)) ;
- **Recalibré** (section chenalisée, profil en « U », pas ou peu de zones littorales peu profondes et de diversité dans les profils en travers).

**MorphoAutre** : indiquer d'autres altérations ayant pour effet de réduire la diversité des habitats (enlèvement important d'embâcle, arasement de bancs de graviers ou galets et autres travaux dans le lit).

Modalités :

- **Nul** (pas de modification de ce type) ;
- **Faible** (ces types de « travaux » ont lieu de façon très ponctuelle et localisée) ;
- **Fort** (ces types de « travaux » ont lieu de façon régulière et généralisée, limitant fortement les habitats disponibles dans le lit).

**MorphoTransSolid** : il s'agit d'évaluer les effets de l'altération du transport solide (principalement barrages et extraction de granulats) à travers le degré d'incision.

Modalités :

- **Nul** (pas de barrage, ni d'extraction modifiant significativement le transport solide — du moins pas de signe visible au niveau du tronçon) ;
- **Faible** (quelques extractions localisées sans impacts majeurs sur le cours d'eau compte-tenu de son type d'incision faible (lit légèrement abaissé, habitat en berge en eau une partie de l'année)) ;
- **Fort** (grands barrages et/ou extractions de granulat à grande échelle, ayant déstabilisées durablement le lit — incision forte, habitats en berges perchés, roches mère affleurantes sur une portion non négligeable du tronçon).

On considère l'existence d'une digue et ses répercussions sur l'existence et la fonctionnalité d'une plaine alluviale. Ce paramètre s'adresse en premier lieu aux cours d'eau de plaine et de piedmont (rupture de pente) pour lesquels ce trait est une composante majeure du fonctionnement hydromorphologique et biologique.

**MorphoDigMaj** : évaluation de l'altération de la connectivité latérale engendrée par la présence d'une digue limitant ou empêchant totalement les débordements et/ou la pérennité d'une plaine alluviale fonctionnelle.

Modalités :

- **Nul** (pas de digue en lit majeur sur le tronçon) ;
- **Faible** (présence d'une digue dans le lit majeur, discontinue sur le tronçon — déconnexion partielle des annexes fluviales avec maintien d'une plaine alluviale morcelée mais fonctionnelle à certaines périodes ou certaines années (débordement au moins tous les 5 ans)) ;
- **Fort** (présence d'une digue dans le lit majeur quasiment continue sur le tronçon — déconnexion (presque) totale et permanente des annexes fluviales).

### Modification du régime thermique

**ThermModif** :

Modalités :

- **Nul** (pas de modification nette et régulière de la température du cours d'eau) ;
- **Rechau** (réchauffement significatif des eaux du fait de rejet industriel (centrale nucléaire ou thermique, vidange d'étang ou d'eau épilimnique de retenue...)) ;
- **Refroi** (refroidissement des eaux lié à un soutirage d'eau hypolimnique d'une retenue).

RQ : il faut tenir compte du fait que ces modifications ne sont pas forcément permanentes et que leurs effets sont plus ou moins marqués selon le type de cours d'eau.

### Altérations de la qualité de l'eau

**PollTox** : il s'agit du déversement de substances reconnues comme dangereuses comme les métaux lourds, pesticides, hydrocarbures et autres molécules organiques de synthèse, etc. On se réfère soit à une présence suspectée compte tenu des activités du secteurs (industriels, agricole...), soit à une présence avérée et quantifiée par des mesures (eau, sédiment ou autres supports).

Modalités :

- **Nul** (pas de contamination suspectée en dehors des apports atmosphériques ou des concentrations liées au fond biogéochimique naturel des roches mère) ;
- **Faible** (présence probable du fait des activités recensées dans le secteur et en amont, ou faibles concentrations mesurées) ;
- **Moyen** (présence avérée à des concentrations jugées de niveau intermédiaire) ;
- **Fort** (fortes concentrations mesurées dans l'eau et/ou présence d'un rejet important identifié à proximité et/ou connu pour altérer la qualité de l'eau sur la station).

RQ : les cas de pollution par des acides ou des rejets à très forte salinité (de l'ordre de plusieurs grammes par litre) doivent être renseignés dans cette catégorie.

**PollOrga** : il s'agit d'évaluer l'existence de rejets à forte teneur en matière organique, qui ne sont pas ou qui sont insuffisamment épurés (épandages de lisiers, élevage, industrie agro-alimentaire, STEP, etc.) et leurs impacts potentiels.

Modalités :

- **Nul** (pas de source de pollution organique connue à proximité de la station) ;
- **Faible** (pollution de faible intensité (rejet faible par rapport au débit du cours d'eau), ou source de pollution suffisamment éloignée (plusieurs km) pour que la pollution éventuellement générée ne soit plus « organique » à proprement parlé (processus de minéralisation réalisée : dans ce cas étudier le problème sous l'aspect « eutrophisation »)) ;
- **Moyen** (pollution caractérisée et de niveau intermédiaire) ;
- **Fort** (rejet important par rapport au débit du cours d'eau, et/ou situé à proximité de la station).

**PollNutr** : enrichissement en azote et en phosphore sous différentes formes, susceptibles de provoquer des déséquilibres trophiques visibles au niveau du tronçon. Concerne notamment les cas de pollution diffuse.

Modalités :

- **Nul** (pas d'apport mis en évidence ou suspecté) ;
- **Faible** (présence probable du fait des activités recensées dans le secteur et en amont, ou faibles concentrations mesurées) ;
- **Moyen** (apports caractérisés et de niveau intermédiaire) ;
- **Fort** (fortes concentrations mesurées dans l'eau et/ou présence d'un rejet important connu à proximité).

**PollEutroph** : évaluation synthétique de l'impact (manifestation visible) des deux paramètres précédents, en prenant en compte le type de cours d'eau (notamment cours d'eau acide / calcaire).

Modalités :

- **Nul** (pas d'enrichissement ou pas de manifestation secondaire (développement algal notable) ;
- **Faible** (développement de végétation significatif (< 20 % en surface) à l'étiage principalement et sans conséquence majeure) ;
- **Moyen** (développement de végétation appréciable (20 % à 50 % en surface)) ;
- **Fort** (développement de végétation important (> 50 % en surface) pouvant conduire à une suroxygénation la journée et à une désoxygénation en fin de nuit et/ou en fin de saison végétative (décomposition de la matière organique produite)).

**PollAcid** : acidification des eaux d'origine anthropique.

Modalités :

- **Non** (pas d'altération connue du pH de l'eau) ;
- **Oui** (diminution nette du pH du fait d'activité anthropique (pH < 5)).

**PollSalin** : apports salins d'origine anthropique.

Modalités :

- **Non** (pas d'apport de ce type) ;
- **Oui** (apports salins significatifs engendrant une salinité importante (à 1 g/l)).

### Usages affectant la faune piscicole

**DivEtang** : présence d'étangs (en particulier à vocation piscicole) ou de retenue collinaire à proximité de la station, induisant la présence d'espèces incompatibles avec le type de cours d'eau.

Modalités :

- **Nul** (absence d'étang ou effet imperceptible) ;
- **Faible** (connectivité et/ou impact périodique) ;
- **Fort** (impact permanent par exemple plan d'eau sur cours).

RQ : Lorsque la nuisance est uniquement thermique, trophique, ou hydrologique renseigner exclusivement les paramètres ThermRechau et/ou PollEutroph et/ou HydroRegimModif.

**DivNavig** : évaluation de l'intensité de la navigation à grand gabarit (péniche et autres navires à fort tonnage et tirant d'eau) et ses effets sur les berges (batillage) et les juvéniles de poissons notamment.

*Modalités :*

- **Nul** (*pas de navigation de ce type*) ;
- **Faible** (*trafic de l'ordre de quelques navires par jour*) ;
- **Fort** (*trafic pouvant aller jusqu'à plusieurs navires par heure*).

RQ : On ne considère pas ici la présence de petits bateaux (type tourisme de petite taille), uniquement les navires de fort tonnage (marchandise ou tourisme) — voir paramètre suivant.

**DivLois** : on évalue le niveau de la fréquentation liée aux loisirs nautiques (canoë, baignade, embarcation légère, canyoning...) et leurs impacts potentiels.

*Modalités :*

- **Nul** (*la fréquentation peut être considérée comme négligeable*) ;
- **Faible** (*fréquentation irrégulière et faible sur l'année*) ;
- **Fort** (*fréquentation forte (nombre de personne important sur plusieurs semaines consécutives), en particulier à certaines périodes de l'année*).

**DivHalieut** : évaluation qualitative de l'impact potentiel de la gestion halieutique, considérée alors comme une pression sur certaines populations au moins. Pour ce paramètre, il s'agit de faire ressortir les principaux secteurs où la pêche amateur ou professionnelle doit être considérée comme une nuisance (= situation tranchée). Cela prend en compte exclusivement les opérations de ré-empoissonnement abusif et les zones pouvant être considérées comme sur-pêchées par rapport à leur potentiel.

*Modalités :*

- **Nul** (*la gestion halieutique ne paraît pas incompatible avec le maintien de populations équilibrées (gestion patrimoniale, raisonnée...)*) ;
- **Pech** (*forte pression de pêche par rapport aux potentialités du secteur*) ;
- **Restock** (*empoissonnement inadapté et excessif (par exemple alevinage massif et systématique alors que les possibilités de reproduction naturelle sont connues)*).

## 13.2 Annexe 2 : Valeurs manquantes par variable

Tableau 113 – Recensement des données manquantes dans la table STATION.

Variable	Nb de NA	% de NA	Variable	Nb de NA	% de NA
DR	0	0.0	DIST_DiR	1	0.1
CODESTA	0	0.0	DSCÉ_DAST	114	5.9
NOMSTA	0	0.0	DMER_DAST	5	0.3
RIV	0	0.0	DSCE_CEMAG	3	0.2
CGENELIN	1	0.1	BV_DiR	1	0.1
COM	0	0.0	BV_FINAL	3	0.2
X_ONEMA	0	0.0	ALT	0	0.0
Y_ONEMA	0	0.0	ALTMOY_BV	3	0.2
X_CTRL	0	0.0	PENT	0	0.0
Y_CTRL	0	0.0	PENT_CH	3	0.2
X_BDC	2	0.1	PTEMOY_BV	3	0.2
Y_BDC	2	0.1	TJANV	5	0.3
BASS_IPR	0	0.0	TMIN_AN	3	0.2
HUET	79	4.1	TJUIL	5	0.3
BASS_EFI	3	0.2	TMAX_AN	3	0.2
HER1	0	0.0	LONGSTA	6	0.3
ECOREG_ILLI	0	0.0	TEAUESTIV	1653	84.9
GIG	0	0.0	DURETE	1389	71.3
STRAHL_CEMAG	113	5.8	LARGLIT	131	6.7
TYP_DCE	1653	84.9	LAC	0	0.0
REGIME_GV	3	0.2	PRES_EW	1	0.1
REG4_GV	3	0.2	OS_CLC	1	0.1
GEOL1	1	0.1	CLAS_ONEMA	1	0.1
GEOL2	1	0.1	DPT	0	0.0

Tableau 114 – Recensement des données manquantes dans la table OPERATION.

Variable	Nb de NA	% de NA	Variable	Nb de NA	% de NA
CODST_OP	0	0.0	LARGEAU	21	0.2
CODOPERA	0	0.0	PROFMOY	241	2.1
DATE	0	0.0	METHOD	0	0.0
ANNEE	0	0.0	STRATEG	0	0.0
RESOPERA	2783	24.8	LONGPECH	4653	41.5
Etude	0	0.0	SURF	69	0.6
RHP	0	0.0	HAB_ECH	258	2.3
RNB	0	0.0	NBPAS	3138	28.0
DCEref	0	0.0	NBZONE	8986	80.2
RCS	0	0.0	NBSYST	10377	92.6
CONDUCT	2601	23.2	NBCOMPL	10947	97.7
TEMPEAU	1802	16.1	ComentDiR	11071	98.8

Tableau 115 – Recensement des données manquantes dans la table EXPERTISE.

Variable	Nb de NA	% de NA	Variable	Nb de NA	% de NA
CODST_EXP	0	0.0	MorphoColmat	61	2.9
PERIOD	1264	60.8	MorphoRectif	38	1.8
StaPeriodExpert	310	14.9	MorphoRecal	38	1.8
RefFIDES	1847	88.8	MorphoAutre	336	16.2
DCERef	1721	82.7	MorphoTransSolid	89	4.3
REF_CAL_ONEMA	866	41.6	MorphoDigMaj	39	1.9
BarMer	25	1.2	ThermModif	47	2.3
BarAmt	68	3.3	PollTox	449	21.6
BarAv	68	3.3	PollOrga	678	32.6
NbAmt	1131	54.4	PollNutr	702	33.8
NbAv	1199	57.6	PollEutroph	378	18.2
HydroModifié	51	2.5	PollAcid	603	29.0
HydroEclus	46	2.2	PollSalin	504	24.2
HydroQres	17	0.8	DivEtang	69	3.3
HydroPrelev	37	1.8	DivNavig	81	3.9
MorphoFaciesRete	37	1.8	DivLois	258	12.4
MorphoFaciesAccel	34	1.6	DivHalieut	252	12.1
MorphoBerge	33	1.6	granulometrie	738	35.5
MorphoRipisyl	38	1.8			

**Tableau 116 – Recensement des données manquantes dans la table MIGRATEUR.**

Variable	Nb de NA	% de NA	Variable	Nb de NA	% de NA
CODST_MIGR	0	0.0	LPRhist	871	44.4
Period2	0	0.0	LPRact	139	7.1
StaPeriodMigrat	0	0.0	LPMhist	749	38.2
ESThist	284	14.5	LPMact	67	3.4
ESTact	10	0.5	TRMhist	716	36.5
ALAhist	671	34.2	TRMact	144	7.3
ALAAct	24	1.2	FLEhist	540	27.5
ALFhist	653	33.3	FLEact	11	0.6
ALFact	31	1.6	EPEhist	513	26.1
SATHist	587	29.9	EPEact	11	0.6
SATAct	15	0.8			
ANGhist	529	27.0			
ANGact	85	4.3			

**Tableau 117 – Recensement des données manquantes dans la table CLC.**

Variable	Nb de NA	% de NA	Variable	Nb de NA	% de NA	Variable	Nb de NA	% de NA
CODST_CLC	0	0	CLC_311	3	0.2	CLC_11	0	0
CLC_TOT_km2	3	0.2	CLC_312	3	0.2	CLC_12	0	0
CLC_111	3	0.2	CLC_313	3	0.2	CLC_13	0	0
CLC_112	3	0.2	CLC_321	3	0.2	CLC_14	0	0
CLC_121	3	0.2	CLC_322	3	0.2	CLC_21	0	0
CLC_122	3	0.2	CLC_323	3	0.2	CLC_22	0	0
CLC_123	3	0.2	CLC_324	3	0.2	CLC_23	0	0
CLC_124	3	0.2	CLC_331	3	0.2	CLC_24	0	0
CLC_131	3	0.2	CLC_332	3	0.2	CLC_31	0	0
CLC_132	3	0.2	CLC_333	3	0.2	CLC_32	0	0
CLC_133	3	0.2	CLC_334	3	0.2	CLC_33	0	0
CLC_141	3	0.2	CLC_335	3	0.2	CLC_41	0	0
CLC_142	3	0.2	CLC_411	3	0.2	CLC_42	0	0
CLC_211	3	0.2	CLC_412	3	0.2	CLC_51	0	0
CLC_212	3	0.2	CLC_421	3	0.2	CLC_52	0	0
CLC_213	3	0.2	CLC_422	3	0.2	CLC_1	0	0
CLC_221	3	0.2	CLC_423	3	0.2	CLC_2	0	0
CLC_222	3	0.2	CLC_511	3	0.2	CLC_3	0	0
CLC_223	3	0.2	CLC_512	3	0.2	CLC_4	0	0
CLC_231	3	0.2	CLC_521	3	0.2	CLC_5	0	0
CLC_241	3	0.2	CLC_522	3	0.2			
CLC_242	3	0.2	CLC_523	3	0.2			
CLC_243	3	0.2						
CLC_244	3	0.2						

**Tableau 118 – Recensement des données manquantes dans la table HYDROLOGIE.**

Variable	Nb de NA	% de NA	Variable	Nb de NA	% de NA
CODST_HYDROL	0	0.0	MODULE	34	1.7
SSBV_KM2	3	0.2	LAMEDO_MM	33	1.7
SURF_Q	3	0.2	Q01	34	1.7
DENS_DRAIN	3	0.2	Q02	34	1.7
PRECAN	3	0.2	Q03	34	1.7
PREC01	3	0.2	Q04	34	1.7
PREC02	3	0.2	Q05	34	1.7
PREC03	3	0.2	Q06	34	1.7
PREC04	3	0.2	Q07	34	1.7
PREC05	3	0.2	Q08	34	1.7
PREC06	3	0.2	Q09	34	1.7
PREC07	3	0.2	Q10	34	1.7
PREC08	3	0.2	Q11	34	1.7
PREC09	3	0.2	Q12	34	1.7
PREC10	3	0.2			
PREC11	3	0.2			
PREC12	3	0.2			

Tableau 119 – Recensement des données manquantes dans la table QUALEAULINEAIRE.

Variable	Nb de NA	% de NA
CODST_Lin	0	0.0
CORRIG_XY	0	0.0
SOURCE	0	0.0
CL_GLOB	253	13.0
CL_MOOX	259	13.3
CL_AZOT	481	24.7
CL_NITR	707	36.3
CL_PHOS	483	24.8

Tableau 120 – Recensement des données manquantes dans la table MACROPOLLUANTS.

Variable	Nb de NA	% de NA	Variable	Nb de NA	% de NA	Variable	Nb de NA	% de NA
CODST_MAC	0	0.0	iNitr8084	1674	85.9			
iAcid8084	1604	82.3	iNitr8387	1716	88.1			
iAcid8387	1637	84.0	iNitr8589	1923	98.7			
iAcid8589	1801	92.5	iNitr8892	1424	73.1			
iAcid8892	1307	67.1	iNitr9397	1266	65.0			
iAcid9397	1179	60.5	iNitr9802	1121	57.5			
iAcid9802	1057	54.3	iNitr0206	1685	86.5			
iAcid0206	1633	83.8	iNitr0307	1175	60.3			
iAcid0307	824	42.3	mNitr8084	1582	81.2			
mAcid8084	1597	82.0	mNitr8387	1591	81.7			
mAcid8387	1610	82.6	mNitr8589	1798	92.3			
mAcid8589	1779	91.3	mNitr8892	1247	64.0			
mAcid8892	1257	64.5	mNitr9397	1111	57.0			
mAcid9397	1122	57.6	mNitr9802	1022	52.5			
mAcid9802	1033	53.0	mNitr0206	1667	85.6			
mAcid0206	1620	83.2	mNitr0307	1051	54.0			
mAcid0307	814	41.8	iPhos8084	1646	84.5			
iMOOX8084	1624	83.4	iPhos8387	1634	83.9			
iMOOX8387	1672	85.8	iPhos8589	1805	92.7			
iMOOX8589	1802	92.5	iPhos8892	1301	66.8			
iMOOX8892	1318	67.7	iPhos9397	1163	59.7			
iMOOX9397	1190	61.1	iPhos9802	1073	55.1			
iMOOX9802	1053	54.1	iPhos0206	1642	84.3			
iMOOX0206	1634	83.9	iPhos0307	934	47.9			
iMOOX0307	830	42.6	mPhos8084	1588	81.5			
mMOOX8084	1615	82.9	mPhos8387	1599	82.1			
mMOOX8387	1634	83.9	mPhos8589	1785	91.6			
mMOOX8589	1780	91.4	mPhos8892	1244	63.9			
mMOOX8892	1269	65.1	mPhos9397	1101	56.5			
mMOOX9397	1132	58.1	mPhos9802	1030	52.9			
mMOOX9802	1024	52.6	mPhos0206	1629	83.6			
mMOOX0206	1622	83.3	mPhos0307	387	19.9			
mMOOX0307	828	42.5						

Tableau 121 – Recensement des données manquantes dans la table MICROPOLLUANTS.

Variable	Nb de NA	% de NA	Variable	Nb de NA	% de NA	Variable	Nb de NA	% de NA
CODST_MIC	0	0.0	mpor ans	1664	85.4	pest ans	1616	83.0
hapmax	1820	93.4	mpor max	1783	91.5	pest max	1734	89.0
hapmed	1820	93.4	mpor med	1783	91.5	pest med	1734	89.0
hapmoy	1820	93.4	mpor moy	1783	91.5	pest moy	1734	89.0
hap10max	1688	86.7	mpor10max	1688	86.7	pest10max	1637	84.0
hap10med	1688	86.7	mpor10med	1688	86.7	pest10med	1637	84.0
hap10moy	1688	86.7	mpor10moy	1688	86.7	pest10moy	1637	84.0
HAP10BON	1588	81.5	MPOR10BON	1556	79.9	PEST10BON	1505	77.3
HAP_BON	1572	80.7	MPOR_BON	1532	78.6	PEST_BON	1484	76.2
mpmi ans	1600	82.1	pcb ans	1789	91.8			
mpmi max	1710	87.8	pcb max	1888	96.9			
mpmi med	1710	87.8	pcb med	1888	96.9			
mpmi moy	1710	87.8	pcb moy	1888	96.9			
mpmi10max	1632	83.8	pcb10max	1805	92.7			
mpmi10med	1632	83.8	pcb10med	1805	92.7			
mpmi10moy	1632	83.8	pcb10moy	1805	92.7			
MPMI10BON	1501	77.1	PCB10BON	1805	92.7			
MPMI_BON	1469	75.4	PCB_BON	1789	91.8			

## 13.3 Annexe 3 : Anomalies dans les différents types de lots

### Problèmes de doublonnages de lots

Les lignes répétées à l'identique, dans les différentes tables poissons des DiR 1, 2, 4, 8 et 9, ont été retirées du jeu de données.

Tableau 122 - Nombre de répétitions de lots par DiR.

DR	Nb de lignes	Nb de doublons	Nb réel de lignes
1	229132	352	228780
2	513863	133	513730
3	367389	0	367389
4	20066	1652	18414
5	168421	0	168421
6	294141	0	294141
7	401150	0	401150
8	336935	606	336329
9	160522	3261	157261

Le détail des anomalies par DiR est présenté ci-dessous.

### Délégation interrégionale n° 1

Problèmes de doublons : sur les 229 132 lignes de la table POIS\_DR1, 352 sont doublonnées. Les répétitions ont été retirées du jeu de données.

Problèmes d'effectifs : le poisson 359218 présente un effectif de 1 au lieu de 0, habituellement pour un lot S. L'erreur étant sans gravité, d'autant plus que nous ne nous servons pas des lots S, l'opération 10090002145 n'est pas retirée du jeu de données.

Tableau 123 – Erreur de lots S dans les données poissons pour la DiR 1.

ESPOI	NUMPOIS	OPCOD	POEFF	POLMI	POLMX	POLOT
EPT	359218	10090002145	1	33	-9	S

Problèmes de tailles : certains lots de la DiR 1 présentent des longueurs minimales (POLMI) négatives. Les opérations correspondantes sont retirées du jeu de données.

Tableau 124 – Opérations de la DiR 1 présentant des tailles minimales négatives.

OPCOD	POLMI	POLOT
10090000290	-9	N
10090000904	-9	N
10090000601	-9	N
10090000659	-9	N
10090000536	-9	N

Des problèmes de tailles maximales, dans les lots de poissons de la DiR 1, sont recensés dans le tableau suivant. Les longueurs douteuses sont remplacées.

Tableau 125 – Erreur de tailles maximales des poissons pour la DiR 1.

ESPOI	NUMPOIS	OPCOD	POEFF	POLMI	POLMX	POLOT	MaxSizeFdB
ABL	148049	10090000952	1	324	-9	N	250
BOU	70597	10090000417	1	132	-9	N	110
BOU	70599	10090000417	1	135	-9	N	110
BRB	150473	10090000959	1	401	-9	N	360
BRB	256592	10090001668	1	464	-9	N	360

BRB	256519	10090001668	1	448	-9	N	360
BRB	256749	10090001670	1	480	-9	N	360
BRB	256527	10090001668	1	430	-9	N	360
BRB	32412	10090000243	1	470	-9	N	360
BRB	256469	10090001668	1	535	-9	N	360
BRB	256514	10090001668	1	420	-9	N	360
BRB	256582	10090001668	1	482	-9	N	360
BRB	256520	10090001668	1	500	-9	N	360
BRB	256509	10090001668	1	500	-9	N	360
BRB	256706	10090001670	1	520	-9	N	360
BRB	256524	10090001668	1	526	-9	N	360
BRB	256513	10090001668	1	500	-9	N	360
BRB	256525	10090001668	1	470	-9	N	360
BRB	256468	10090001668	1	470	-9	N	360
BRB	256522	10090001668	1	530	-9	N	360
BRB	256521	10090001668	1	475	-9	N	360
BRB	256584	10090001668	1	480	-9	N	360
BRB	256583	10090001668	1	494	-9	N	360
BRB	256750	10090001670	1	480	-9	N	360
BRB	256523	10090001668	1	460	-9	N	360
BRB	256423	10090001668	1	420	-9	N	360
BRB	256581	10090001668	1	503	-9	N	360
BRB	256465	10090001668	1	430	-9	N	360
BRB	256463	10090001668	1	490	-9	N	360
BRB	256515	10090001668	1	462	-9	N	360
BRB	256748	10090001670	1	480	-9	N	360
BRB	44996	10090000291	1	480	-9	N	360
BRB	256426	10090001668	1	505	-9	N	360
BRB	256424	10090001668	1	453	-9	N	360
BRB	256590	10090001668	1	460	-9	N	360
BRB	256518	10090001668	1	555	-9	N	360
BRB	256467	10090001668	1	520	-9	N	360
BRB	256466	10090001668	1	415	-9	N	360
BRB	256425	10090001668	1	480	-9	N	360
BRB	256428	10090001668	1	525	-9	N	360
BRB	256427	10090001668	1	520	-9	N	360
BRB	148542	10090000953	1	450	-9	N	360
BRB	256516	10090001668	1	520	-9	N	360
BRB	200774	10090001287	1	420	-9	N	360
BRB	256464	10090001668	1	435	-9	N	360
BRB	256751	10090001670	1	500	-9	N	360
CHA	96703	10090000592	1	753	-9	N	180
CHA	61914	10090000379	1	267	-9	N	180
EPI	337463	10090002002	0	250	-9	I	110
GAR	173017	10090001087	1	680	-9	N	460
GAR	355445	10090002128	1	584	-9	N	460
GAR	44549	10090000289	1	553	-9	N	460
GAR	173018	10090001087	1	625	-9	N	460
GAR	174093	10090001094	1	590	-9	N	460
GAR	173025	10090001087	1	680	-9	N	460
GAR	173019	10090001087	1	680	-9	N	460
GAR	38650	10090000264	1	1278	-9	N	460
GAR	80937	10090000523	1	1756	-9	N	460
GOU	95432	10090000589	1	783	-9	N	200
GOU	94523	10090000584	1	221	-9	N	200
GOU	335143	10090001992	1	235	-9	N	200
LOR	56487	10090000363	1	195	-9	N	135
LPP	120037	10090000723	1	240	-9	N	200
VAI	176805	10090001109	1	320	-9	N	140
VAN	222389	10090001445	1	900	-9	N	400

## Délégation interrégionale n° 2

Problèmes de doublons : sur les 513 863 lignes de la table POIS\_DR2, 133 sont doublonnées. Les répétitions ont été retirées du jeu de données.

Problèmes d'effectifs : les lots N suivants présentent des effectifs différents de 1. Seule l'opération 22220000999 est éliminée, l'erreur étant sans gravité dans les autres cas (effectifs égaux à 0 ou -9).

Tableau 126 – Erreur de lots N dans les données poissons pour la DiR 2.

NUMPOIS	OPCOD	ESPOI	POLMI	POLMX	POLOT	POEFF
327279	20010000221	CHE	228	-9	N	-9
327282	20010000221	CHE	210	-9	N	-9
327292	20010000221	CHE	184	-9	N	-9
327296	20010000221	CHE	164	-9	N	-9
327298	20010000221	CHE	144	-9	N	-9
363516	22220000999	CHA	57	-9	N	84
363517	22220000999	CHA	85	-9	N	26
363518	22220000999	CHA	68	-9	N	109
365582	22220000999	LOF	57	-9	N	27
365583	22220000999	LOF	100	-9	N	86
251705	22220001220	LPP	95	-9	N	0
251706	22220001220	LPP	82	-9	N	0
251707	22220001220	LPP	105	-9	N	0
251708	22220001220	LPP	92	-9	N	0
251709	22220001220	LPP	91	-9	N	0
251710	22220001220	LPP	105	-9	N	0
251711	22220001220	LPP	102	-9	N	0
251712	22220001220	LPP	105	-9	N	0
251713	22220001220	LPP	87	-9	N	0
251714	22220001220	LPP	100	-9	N	0
251715	22220001220	LPP	120	-9	N	0
251716	22220001220	LPP	110	-9	N	0
251717	22220001220	LPP	98	-9	N	0
251718	22220001220	LPP	105	-9	N	0
251719	22220001220	LPP	108	-9	N	0
251720	22220001220	LPP	112	-9	N	0
251721	22220001220	LPP	121	-9	N	0
251722	22220001220	LPP	95	-9	N	0
251723	22220001220	LPP	80	-9	N	0
251724	22220001220	LPP	110	-9	N	0
251725	22220001220	LPP	105	-9	N	0
251726	22220001220	LPP	110	-9	N	0
251727	22220001220	LPP	98	-9	N	0
251728	22220001220	LPP	107	-9	N	0
251729	22220001220	LPP	97	-9	N	0

Les poissons suivants présentent un effectif de 1 au lieu de 0, habituellement pour un lot S. L'erreur étant sans gravité, d'autant plus que nous ne nous servons pas des lots S, les opérations correspondantes ne sont pas retirées du jeu de données

Tableau 127 – Erreur de lots S dans les données poissons pour la DiR 2.

NUMPOIS	OPCOD	ESPOI	POLMI	POLMX	POLOT	POEFF
362951	22220001262	VAI	38	-9	S	1
362952	22220001262	VAI	42	-9	S	1
362953	22220001262	VAI	44	-9	S	1
362954	22220001262	VAI	44	-9	S	1
362955	22220001262	VAI	45	-9	S	1
362956	22220001262	VAI	45	-9	S	1
362957	22220001262	VAI	46	-9	S	1
362958	22220001262	VAI	48	-9	S	1
362959	22220001262	VAI	48	-9	S	1
362960	22220001262	VAI	49	-9	S	1
362961	22220001262	VAI	50	-9	S	1

Lots L suivants présentent des effectifs différents de 1. Les opérations correspondantes sont éliminées du jeu de données.

Tableau 128 – Erreur de lots L dans les données poissons pour la DiR 2.

NUMPOIS	OPCOD	ESPOI	POLMI	POLMX	POLOT	POEFF
362963	22220001262	VAI	37	-9	L	0
138603	24010000585	VAI	71	71	L	-9

Problèmes de tailles : certains lots de la DiR 2 présentent des longueurs minimales (POLMI) négatives. Les opérations correspondantes sont retirées du jeu de données.

Tableau 129 – Opérations de la DiR 2 présentant des tailles minimales négatives.

OPCOD	POLMI	POLOT
20010000037	-9	G
20010000048	-9	G
20010000058	-9	G
20010000063	-9	G
20010000098	-9	G
20010000104	-9	G
20010000111	-9	G
20010000148	-9	G
20010000149	-9	G
20010000154	-9	G
20010000155	-9	G
20010000274	-9	G
20010000291	-9	G
20010000302	-9	G
20010000302	-9	G
20010000349	-9	G
20010000887	-9	I
20010000895	-9	I
20010000831	-9	I
22220000022	-9	G
22220000026	-9	G
22220000038	-9	G
22220000055	-9	G
22220000432	-9	G
22220000619	-9	G

Des problèmes de tailles maximales, dans les lots de poissons de la DiR 2, sont recensés dans le tableau suivant. Les longueurs douteuses sont remplacées.

Tableau 130 – Erreur de tailles maximales des poissons pour la DiR 2.

ESPOI	NUMPOIS	OPCOD	POEFF	POLMI	POLMX	POLOT	MaxSizeFdB
ABH	151231	24010000615	1	139	-9	N	120
BRB	34540	24010000177	1	440	-9	N	360
CHA	267717	22220001245	1	448	-9	N	180
CHA	228213	22220001180	1	213	-9	N	180
CHA	228209	22220001180	1	253	-9	N	180
CHA	228210	22220001180	1	243	-9	N	180
CHA	228214	22220001180	1	208	-9	N	180
CHA	164299	24010000653	1	260	-9	N	180
GOU	236289	22220001193	1	216	-9	N	200
GOU	313707	20010001262	1	245	-9	N	200
VAI	358392	22220001368	53	28	612	L	140
VAN	105792	24010000508	1	770	-9	N	400
VAN	99476	20010000829	1	560	-9	N	400

### Délégation interrégionale n° 3

Problèmes de doublons : sur les 367 389 que compte la table POIS\_DR3, on ne compte aucun doublon.

Problèmes d'effectifs : le lot N suivant présente un effectif supérieur à 1 ; l'opération correspondante est éliminée du jeu de données.

Tableau 131 – Erreur de lots N dans les données poissons pour la DiR 3.

NUMPOIS	OPCOD	POEFF	ESPOI	POLMI	POLMX	POLOT
359281	41170001794	75	GOU	134	134	N

Problèmes de tailles : certains lots de la DiR 3 présentent des longueurs minimales (POLMI) négatives. Les opérations correspondantes sont retirées du jeu de données.

Tableau 132 – Opérations de la DiR 3 présentant des tailles minimales négatives.

OPCOD	POLMI	POLOT
64320002031	-9	N
41170001102	-9	N
41170001133	-9	N
41170001177	-9	N

Des problèmes de tailles maximales, dans les lots de poissons de la DiR 3, sont recensés dans le tableau suivant. Les longueurs douteuses sont remplacées.

Tableau 133 – Erreur de tailles maximales des poissons pour la DiR 3.

ESPOI	NUMPOIS	OPCOD	POEFF	POLMI	POLMX	POLOT	MaxSizeFdB
ABL	469300	64320002702	1	290	-9	N	250
ABL	399431	64320002295	1	425	-9	N	250
ANG	371545	41170001914	1	1530	-9	N	1330
BRB	210101	41170000404	1	483	-9	N	360
BRB	275104	64320001108	1	420	-9	N	360
BRB	282008	41170001215	1	400	-9	N	360
BRB	210643	41170000408	1	469	-9	N	360
BRB	210644	41170000408	1	445	-9	N	360
BRB	414596	41170002158	1	420	-9	N	360
BRB	373667	64320002076	1	415	-9	N	360
EPI	295613	64320001424	1	480	-9	N	110
GAR	282692	41170001218	1	531	-9	N	460
GOU	278257	64320001144	24	152	270	G	200
GOU	425941	64320002417	1	232	-9	N	200
GOU	295614	64320001424	1	550	-9	N	200
GOU	346717	41170001719	1	440	-9	N	200
PER	408185	64320002336	1	580	-9	N	510
PSR	451100	64320002620	1	126	-9	N	110
SPI	409284	64320002343	1	185	-9	N	160
SPI	447676	64320002609	1	204	-9	N	160
TRF	386044	64320002173	1	1309	-9	N	1000
VAI	319563	41170001530	1	404	-9	N	140
VAI	346767	41170001719	1	160	-9	N	140

## Délégation interrégionale n° 4

Problèmes de doublons : sur les 20 066 lignes de la table POIS\_DR4, 1 652 sont doublonnées. Les répétitions ont été retirées du jeu de données.

Problèmes d'effectifs : aucune erreur se rapportant aux lots n'est recensée pour la DiR 4.

Problèmes de tailles : des problèmes de tailles maximales, dans les lots de poissons de la DiR 4, sont recensés dans le tableau suivant. Les longueurs douteuses sont remplacées.

Tableau 134 – Erreur de tailles maximales des poissons pour la DiR 4.

ESPOI	NUMPOIS	OPCOD	POEFF	POLMI	POLMX	POLOT	MaxSizeFdB
CAS	417849	40010001799	1	862	-9	N	640
GOU	444186	40010001871	1	1105	-9	N	200
PES	460536	40010001926	30	50	920	L	250
PES	16351	40010000141	1	290	-9	N	250

## Délégation interrégionale n° 5

Problèmes de doublons : sur les 168 421 que compte la table POIS\_DR5, on ne compte aucun doublon.

Problèmes d'effectifs : les lots I suivants présentent une taille maximale négative. L'erreur étant sans gravité, les opérations correspondantes ne sont pas retirées du jeu de données.

Tableau 135 – Erreur de lots I dans les données poissons pour la DiR 5.

ESPOI	NUMPOIS	OPCOD	POEFF	POLMI	POLMX	POLOT
LPP	186538	50010001607	-9	138	-9	I
BAM	186198	50010001606	-9	33	-9	I
GOU	186596	50010001607	-9	41	-9	I
TRF	187080	50010001609	-9	118	-9	I
BOU	197761	50010001644	-9	45	-9	I

Les poissons suivants présentent un effectif différent de 0. L'erreur étant sans gravité, d'autant plus que nous ne nous servons pas des lots S, les opérations correspondantes ne sont pas retirées du jeu de données.

Tableau 136 – Erreur de lots S dans les données poissons pour la DiR 5.

ESPOI	NUMPOIS	OPCOD	POEFF	POLMI	POLMX	POLOT
VAI	56030	50010000495	30	48	-9	S
BLN	186466	50010001607	-9	36	-9	S
VAI	186499	50010001607	-9	64	-9	S
VAI	187788	50010001613	-9	48	-9	S
LOF	188167	50010001608	-9	76	-9	S
GOU	188457	50010001608	-9	71	-9	S
LOF	188520	50010001608	-9	76	-9	S
GOU	188488	50010001608	-9	82	-9	S
BOU	190235	50010001620	-9	53	-9	S
GAR	190209	50010001620	-9	66	-9	S
BLN	190850	50010001607	-9	36	-9	S
VAI	190881	50010001607	-9	64	-9	S
LOF	191983	50010001626	-9	68	-9	S
LOF	192147	50010001626	-9	60	-9	S
SPI	193870	50010001634	-9	55	-9	S
BAF	194018	50010001634	-9	92	-9	S
BAF	194158	50010001634	-9	130	-9	S
GOU	196426	50010001640	-9	133	-9	S
GAR	196553	50010001640	-9	50	-9	S
BAF	197190	50010001643	-9	31	-9	S
GAR	198166	50010001644	-9	145	-9	S
CHA	199210	50010001647	-9	80	-9	S
CHA	199465	50010001647	-9	66	-9	S
TRF	199498	50010001647	-9	95	-9	S
TRF	199434	50010001647	-9	52	-9	S
SPI	199712	50010001648	-9	100	-9	S
GOU	199979	50010001648	-9	78	-9	S
GAR	199743	50010001648	-9	63	-9	S
VAN	200023	50010001648	-9	115	-9	S
LOF	335	96730000002	-9	48	-9	S
VAI	366	96730000002	-9	28	-9	S
VAI	491	96730000002	-9	28	-9	S
LOF	522	96730000002	-9	96	-9	S
LOF	553	96730000002	-9	48	-9	S
GOU	1147	96730000006	-9	118	-9	S
VAI	1209	96730000006	-9	40	-9	S
VAI	1178	96730000006	-9	63	-9	S
GOU	1392	96730000007	-9	125	-9	S
BLN	1434	96730000007	-9	125	-9	S
LOF	3785	96730000013	-9	88	-9	S
CHE	10432	96730000057	-9	50	-9	S
GOU	10910	96730000060	-9	112	-9	S
VAI	10972	96730000060	-9	90	-9	S
CHE	11034	96730000060	-9	85	-9	S
GOU	10941	96730000060	-9	46	-9	S
VAI	11003	96730000060	-9	49	-9	S
CHE	11065	96730000060	-9	45	-9	S
VAI	11350	96730000061	-9	72	-9	S
LOF	11381	96730000061	-9	111	-9	S
CHE	11569	96730000062	-9	45	-9	S
PSR	11538	96730000062	-9	82	-9	S

Problèmes de tailles. Des problèmes de tailles maximales, dans les lots de poissons de la DiR 5, sont recensés dans le tableau suivant. Les longueurs douteuses sont remplacées.

Tableau 137 – Erreur de tailles maximales des poissons pour la DiR 5.

ESPOI	NUMPOIS	OPCOD	POEFF	POLMI	POLMX	POLOT	MaxSizeFdB
HOT	34244	50010000369	1	795	-9	N	600
PSR	82755	50010000677	1	198	-9	N	110

## Délégation interrégionale n° 6

Problèmes de doublons : sur les 294 141 que compte la table POIS\_DR6, on ne compte aucun doublon.

Problèmes d'effectifs : aucune erreur se rapportant aux effectifs de lots n'est recensée pour la DiR 6.

Problèmes de tailles : des problèmes de tailles maximales, dans les lots de poissons de la DiR 6, sont recensés dans le tableau suivant. Les longueurs douteuses sont remplacées.

Tableau 138 – Erreur de tailles maximales des poissons pour la DiR 6.

ESPOI	NUMPOIS	OPCOD	POEFF	POLMI	POLMX	POLOT	MaxSizeFdB
GOU	279722	60010001026	1	227	-9	N	200
GOU	279727	60010001026	1	237	-9	N	200
LPP	105301	60010000411	1	310	-9	N	200

## Délégation interrégionale n° 7

Problèmes de doublons : sur les 401 150 que compte la table POIS\_DR7, on ne compte aucun doublon.

Problèmes d'effectifs : le lot L suivant présente un effectif négatif. L'opération correspondante est retirée du jeu de données.

Tableau 139 – Erreur de lot L dans les données poissons pour la DiR 7.

ESPOI	NUMPOIS	OPCOD	POEFF	POLMI	POLMX	POLOT
GOU	166110	79990003461	-9	55	100	L

Problèmes de tailles : des problèmes de tailles maximales, dans les lots de poissons de la DiR 7, sont recensés dans le tableau suivant. Les longueurs douteuses sont remplacées.

Tableau 140 – Erreur de tailles maximales des poissons pour la DiR 7.

ESPOI	NUMPOIS	OPCOD	POEFF	POLMI	POLMX	POLOT	MaxSizeFdB
ABL	206634	79990003648	32	66	632	L	250
ABL	165120	70010000675	1	296	-9	N	250
ANG	222219	79990003751	1	4477	-9	N	1330
BOU	297703	70010001621	0	3045	-9	I	110
CHA	301524	70010001643	1	775	-9	N	180
CHE	296462	70010001618	0	5755	-9	I	750
GAR	194661	79990003614	1	600	-9	N	460
GAR	299805	70010001631	0	4646	-9	I	460
GAR	300039	70010001632	0	6453	-9	I	460
GOU	233873	70010001402	1	280	-9	N	200
GOU	233871	70010001402	1	300	-9	N	200
GOU	233869	70010001402	1	330	-9	N	200
GOU	233870	70010001402	1	320	-9	N	200
GOU	197247	79990003621	324	34	425	L	200
GOU	171196	70010000690	1	623	-9	N	200

GOU	240473	70010001417	1	602	-9	N	200
GOU	178224	70010000707	1	742	-9	N	200
PES	159682	79990003442	1	404	-9	N	250
PES	159681	79990003442	1	304	-9	N	250
PSR	28701	79990000407	1	120	129	G	110
PSR	250126	70010001447	39	72	123	L	110
PSR	285441	70010001576	1	170	-9	N	110
TOX	8504	70010000088	1	335	-9	N	300
TOX	233542	79990003789	1	1129	-9	N	300
TRF	304343	70010001654	1	12920	-9	N	1000
VAN	24636	70010000137	1	470	-9	N	400
VAN	24625	70010000137	1	465	-9	N	400
VAN	24626	70010000137	1	451	-9	N	400
VAN	44839	70010000282	1	465	-9	N	400
VAN	108561	70010000490	1	450	-9	N	400
VAN	44741	70010000282	1	465	-9	N	400
VAN	44836	70010000282	1	460	-9	N	400
VAN	44828	70010000282	1	459	-9	N	400
VAN	44788	70010000282	1	445	-9	N	400

## Délégation interrégionale n° 8

Problèmes de doublons : sur les 336 935 lignes de la table POIS\_DR8, 606 sont doublonnées. Les répétitions ont été retirées du jeu de données.

Problèmes d'effectifs : aucune erreur se rapportant aux effectifs lots n'est recensée pour la DiR 8.

Problèmes de tailles : des problèmes de tailles maximales, dans les lots de poissons de la DiR 8, sont recensés dans le tableau suivant. Les longueurs douteuses sont remplacées.

Tableau 141 – Erreur de tailles maximales des poissons pour la DiR 8.

ESPOI	NUMPOIS	OPCOD	POEFF	POLMI	POLMX	POLOT	MaxSizeFdB
GAR	180571	88880000616	93	99	1353	L	460
LOF	274109	88880001008	119	50	6050	L	210
PSR	68008	80010000346	1	353	-9	N	110
SPI	71990	80010000355	0	216	-9	I	160
SPI	71984	80010000355	0	203	-9	I	160
VAI	308495	88880001114	245	33	421	L	140
VAI	111717	80010000501	122	53	573	L	140

## Délégation interrégionale n° 9

Problèmes de doublons. Sur les 160 522 lignes de la table POIS\_DR9, 3 261 sont doublonnées. Les répétitions ont été retirées du jeu de données.

Problèmes d'effectifs. Les poissons suivants présentent un effectif différent de 0. L'erreur étant sans gravité, d'autant plus que nous ne nous servons pas des lots S, les opérations correspondantes ne sont pas retirées du jeu de données

Tableau 142 – Erreur de lots S dans les données poissons pour la DiR 9.

ESPOI	NUMPOIS	OPCOD	POEFF	POLMI	POLMX	POLOT
ABL	326438	19990001037	1	48	-9	S
CHA	165936	90010000412	42	71	-9	S

Problèmes de tailles : des problèmes de tailles maximales, dans les lots de poissons de la DiR 9, sont recensés dans le tableau suivant. Les longueurs douteuses sont remplacées.

Tableau 143 – Erreur de tailles maximales des poissons pour la DiR 9.

ESPOI	NUMPOIS	OPCOD	POEFF	POLMI	POLMX	POLOT	MaxSizeFdB
ABH	157941	90010000371	1	290	-9	N	120
BRB	143916	90010000331	1	400	-9	N	360
BRB	156544	90010000361	1	390	-9	N	360
CHA	168698	90010000438	2	93	1001	G	180
CHE	308175	19990000930	0	1057	-9	I	750
GAR	143931	90010000331	1	620	-9	N	460
GAR	329912	19990001061	0	10601	-9	I	460
GOU	227820	19990000511	1	235	-9	N	200
GOU	155084	90010000351	1	240	-9	N	200
GOU	339671	19990001092	0	1210	-9	I	200
GOU	221684	19990000443	5	71	789	G	200
GOU	336543	19990001081	0	406	-9	I	200
GOU	130092	90010000235	51	330	-9	I	200
HOT	164178	19990000101	1	724	-9	N	600
HOT	329575	19990001063	1	980	-9	N	600
SPI	308588	19990000931	58	53	812	L	160
SPI	324160	19990001002	0	366	-9	I	160
TOX	102778	90010000116	1	331	-9	N	300
VAI	204121	19990000353	80	33	732	L	140
VAI	164077	19990000101	6	31	347	G	140
VAI	187365	19990000248	876	18	665	G	140
VAI	161110	19990000049	1	650	-9	N	140

## 13.4 Annexe 4 : Espèces retenues dans les guides

Tableau 144 – Liste des espèces retenues dans les guides.

Nom latin	Nom commun (1)	Code espèce	Longueur totale (2)	Nom latin+	Nom commun (1)	Code espèce	Longueur totale (2)
<i>Abramis bjoerkna</i>	Brème bordelière	BRB	384	<i>Lepomis gibbosus</i>	Perche-soleil	PES	369
<i>Abramis brama</i>	Brème commune	BRE	909	<i>Leucaspis delineatus</i>	Able de Heckel	ABH	107
<i>Abramis sapa</i>	Brème du Danube	BRD	292	<i>Leuciscus burdigalensis</i>	Vandoise rostrée	VAR	481
<i>Acipenser sturio</i>	Esturgeon européen	EST	6000	<i>Leuciscus cephalus</i>	Chevaine	CHE	697
<i>Alburnoides bipunctatus</i>	Spirilin	SPI	151	<i>Leuciscus idus</i>	Ide mélanote	IDE	1019
<i>Alburnus alburnus</i>	Ablette	ABL	192	<i>Leuciscus leuciscus</i>	Vandoise	VAN	305
<i>Alosa alosa</i>	Grande alose	ALA	830	<i>Leuciscus souffia</i>	Blageon	BLN	240
<i>Alosa fallax</i>	Alose feinte	ALF	600	<i>Lota lota</i>	Lote	LOT	1107
<i>Alosa fallax rhodanensis</i>	Alose du Rhône	ALR	600	<i>Micropterus salmoides</i>	Achigan à grande-bouche	BBG	757
<i>Ameiurus melas</i>	Poisson-chat	PCH	582	<i>Misgurnus fossilis</i>	Loche d'étang	LOE	295
<i>Anguilla anguilla</i>	Anguille européenne	ANG	2000	<i>Osmerus eperlanus</i>	Eperlan	EPE	309
<i>Aspius aspius</i>	Aspe	ASP	979	<i>Pachychilon pictum</i>	Epirine lippue	PAP	215
<i>Barbatula barbatula</i>	Loche franche	LOF	171	<i>Perca fluviatilis</i>	Perche	PER	236
<i>Barbus barbatus</i>	Barbeau fluviatile	BAF	1095	<i>Petromyzon marinus</i>	Lamproie marine	LPM	1200
<i>Barbus meridionalis</i>	Barbeau méridional	BAM	313	<i>Phoxinus phoxinus</i>	Vairon	VAI	122
<i>Carassius auratus</i>	Carassin doré	CAD	361	<i>Platichthys flesus</i>	Flet	FLE	611
<i>Carassius carassius</i>	Carassin commun	CAS	683	<i>Pseudorasbora parva</i>	Pseudorasbora	PSR	112
<i>Carassius gibelio</i>	Carassin argenté	CAG	431	<i>Pungitius pungitius</i>	Épinochette	EPT	72
<i>Carassius sp.</i>	Carassin doré ou argenté	CAA	431	<i>Rhodeus amarus</i>	Bouvière	BOU	106
<i>Chondrostoma nasus</i>	Hotu	HOT	525	<i>Rutilus rutilus</i>	Gardon	GAR	572
<i>Chondrostoma toxostoma</i>	Toxostome	TOX	300	<i>Salaria fluviatilis</i>	Blennie fluviatile	BLE	156
<i>Cobitis bilineata</i>	Loche italienne	*	117	<i>Salmo salar</i>	Saumon	SAT	1090
<i>Cobitis taenia</i>	Loche épineuse	LOR	107	<i>Salmo trutta fario</i>	Truite commune	TRF	1021
<i>Coregonus lavaretus</i>	Corégones	COR	465	<i>Salmo trutta lacustris</i>	Truite commune	TRL	1021
<i>Cottus gobio</i>	Chabot	CHA	107	<i>Salmo trutta macrostigma</i>	Truite corse	TRC	1021
<i>Cottus petiti</i>	Chabot du Lez	CHP	48	<i>Salmo trutta trutta</i>	Truite commune	TRM	1021
<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe commune	CCO/CCU/CMI	502	<i>Salvelinus fontinalis</i>	Saumon de fontaine	SDF	553
<i>Esox lucius</i>	Brochet	BRO	1352	<i>Salvelinus namaycush</i>	Cristivomer	CRI	1120
<i>Gambusia affinis</i>	Gambusie	GAM	70	<i>Sander lucioperca</i>	Sandre	SAN	1181
<i>Gambusia holbrooki</i>	Gambusie	*	80	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	Rotengle	ROT	413
<i>Gasterosteus aculeatus</i>	Épinoche	EPI	113	<i>Silurus glanis</i>	Silure glane	SIL	5446
<i>Gobio gobio</i>	Goujon	GOU	157	<i>Thymallus thymallus</i>	Ombre commun	OBR	574
<i>Gymnocephalus cernuus</i>	Grémille	GRE	243	<i>Tinca tinca</i>	Tanche	TAN	710
<i>Hucho hucho</i>	Huchon	HUC	2048	<i>Umbra pygmaea</i>	Umbre pygmée	UMP	142
<i>Lampetra fluviatilis</i>	Lamproie de rivière	LPR	450	<i>Vimba vimba</i>	Vimbe	VIM	410
<i>Lampetra planeri</i>	Lamproie de planer	LPP	190	<i>Zingel asper</i>	Apron du Rhône	APR	226
<i>Lampetra sp.</i>	Lamproie	LPX	450				

\* : code non défini

(1) : selon l'Atlas piscicole

(2) : longueur totale selon Kottelat et Fryer

Les espèces encadrées sont regroupées.

## 13.5 Annexe 5 : Classification fonctionnelle des espèces

Tableau 145 – Liste des espèces selon la classification fonctionnelle.

Code Esp.	Tolerance Generale	Tolerance O2	Tolerance Temper.	Regime Alim.	Tolerance Habitat	Habitat Reprod.	Habitat Reophil.	Habitat Trophiq.	Migration	Mode Reprod.	Mode Ponte	Soins
BRB	TOL	O2TOL	EUTHER	OMNI	HTOL	LIPAR	LIMNO	B	RESID	PHLI	PRO	NOP
BRE	TOL	O2TOL	EUTHER	OMNI	HTOL	LIPAR	LIMNO	B	RESID	PHLI	SIN	NOP
BRD	TOL	O2TOL	EUTHER	INSV	HTOL	RHPAR	RH	B	POTAD	LITH	SIN	NOP
EST	IM	O2IM	EUTHER	INSV	HINTOL	RHPAR	RH	B	LONG-LMA	LITH	SIN	NOP
SPI	INTOL	O2INTOL	STTHER	INSV	HINTOL	RHPAR	RH	WC	RESID	LITH	FR	NOP
ABL	TOL	O2IM	EUTHER	INSV	HTOL	LIPAR	EURY	WC	RESID	PHLI	FR	NOP
ALA	INTOL	O2INTOL	EUTHER	PLAN	HINTOL	RHPAR	RH	WC	LONG-LMA	LITH	SIN	NOP
ALF	INTOL	O2INTOL	EUTHER	PLAN	HINTOL	RHPAR	RH	WC	LONG-LMA	LITH	SIN	NOP
ALR	INTOL	O2INTOL	EUTHER	PLAN	HINTOL	RHPAR	RH	WC	LONG-LMA	LITH	SIN	NOP
PCH	TOL	O2TOL	EUTHER	INSV	HTOL	LIPAR	LIMNO	B	RESID	LITH	SIN	PROT
ANG	TOL	O2TOL	EUTHER	INSV-PISC	HTOL	NA	EURY	B	LONG-LMC	-	-	-
ASP	IM	O2INTOL	EUTHER	PISC	HTOL	RHPAR	EURY	WC	POTAD	LITH	SIN	NOP
LOF	IM	O2IM	EUTHER	INSV	HIM	RHPAR	RH	B	RESID	LITH	FR	NOP
BAF	INTOL	O2IM	EUTHER	OMNI	HINTOL	RHPAR	RH	B	POTAD	LITH	FR	NOP
BAM	INTOL	O2IM	EUTHER	INSV	HINTOL	RHPAR	RH	B	POTAD	LITH	SIN	NOP
CAD	TOL	O2TOL	EUTHER	OMNI	HTOL	LIPAR	LIMNO	B	RESID	PHYT	FR	NOP
CAS	TOL	O2TOL	EUTHER	OMNI	HTOL	LIPAR	LIMNO	B	RESID	PHYT	FR	NOP
CAG	TOL	O2TOL	EUTHER	OMNI	HTOL	LIPAR	LIMNO	B	RESID	PHYT	FR	NOP
CAA	TOL	O2TOL	EUTHER	OMNI	HTOL	LIPAR	LIMNO	B	RESID	PHYT	FR	NOP
HOT	INTOL	O2IM	EUTHER	HERB	HINTOL	RHPAR	RH	B	POTAD	LITH	SIN	NOP
TOX	INTOL	O2IM	EUTHER	HERB	HINTOL	RHPAR	RH	B	POTAD	LITH	SIN	NOP
*	IM	O2IM	EUTHER	INSV	HIM	RHPAR	EURY	B	RESID	PHYT	FR	NOP
LOR	IM	O2IM	EUTHER	INSV	HIM	EUPAR	EURY	B	RESID	PHYT	FR	NOP
COR	INTOL	O2INTOL	STTHER	INSV	HINTOL	LIPAR	LIMNO	WC	RESID	LITH	SIN	NOP
CHA	INTOL	O2INTOL	STTHER	INSV	HINTOL	RHPAR	RH	B	RESID	LITH	SIN	PROT
CHP	INTOL	O2INTOL	STTHER	INSV	HINTOL	RHPAR	RH	B	RESID	LITH	SIN	PROT
CCO/C CU/CM	TOL	O2TOL	EUTHER	OMNI	HTOL	LIPAR	LIMNO	B	RESID	PHYT	SIN	NOP
BRO	IM	O2IM	EUTHER	PISC	HINTOL	LIPAR	LIMNO	WC	POTAD	PHYT	SIN	NOP
GAM	TOL	O2TOL	EUTHER	INSV	HTOL	LIPAR	LIMNO	WC	RESID	VIVI	PRO	PROT
*	TOL	O2TOL	EUTHER	INSV	HTOL	LIPAR	LIMNO	WC	RESID	VIVI	PRO	PROT
EPI	TOL	O2IM	EUTHER	INSV	HTOL	LIPAR	EURY	WC	RESID	PHYT	PRO	PROT
GOU	IM	O2IM	EUTHER	OMNI	HIM	RHPAR	EURY	B	RESID	PHLI	FR	NOP
GRE	TOL	O2IM	EUTHER	INSV	HTOL	EUPAR	EURY	B	RESID	PHLI	FR	NOP
HUC	INTOL	O2INTOL	STTHER	PISC	HINTOL	RHPAR	RH	WC	POTAD	LITH	SIN	NOP
LPR	INTOL	O2INTOL	STTHER	DETR	HINTOL	RHPAR	RH	B	LONG-LMA	LITH	SIN	NOP
LPP	INTOL	O2INTOL	STTHER	DETR	HINTOL	RHPAR	RH	B	RESID	LITH	SIN	NOP
LPX	INTOL	O2INTOL	STTHER	DETR	HINTOL	RHPAR	RH	B	NA	LITH	SIN	NOP
PES	TOL	O2TOL	EUTHER	INSV	HTOL	LIPAR	LIMNO	WC	RESID	PHLI	FR	PROT
ABH	TOL	O2IM	EUTHER	OMNI	HIM	LIPAR	LIMNO	WC	RESID	PHYT	FR	PROT
VAR	INTOL	O2IM	EUTHER	OMNI	HIM	RHPAR	RH	WC	POTAD	LITH	SIN	NOP
CHE	TOL	O2IM	EUTHER	OMNI	HTOL	RHPAR	EURY	WC	POTAD	LITH	FR	NOP
IDE	IM	O2IM	EUTHER	OMNI	HIM	EUPAR	RH	WC	POTAD	PHLI	SIN	NOP
VAN	INTOL	O2IM	EUTHER	OMNI	HIM	RHPAR	RH	WC	POTAD	LITH	SIN	NOP
BLN	INTOL	O2INTOL	EUTHER	INSV	HINTOL	RHPAR	RH	WC	RESID	LITH	SIN	NOP
LOT	IM	O2INTOL	STTHER	PISC	HINTOL	EUPAR	EURY	B	POTAD	LITH	SIN	NOP
BBG	TOL	O2IM	EUTHER	PISC	HIM	LIPAR	LIMNO	WC	RESID	PHLI	FR	PROT
LOE	TOL	O2TOL	EUTHER	INSV	HINTOL	LIPAR	LIMNO	B	RESID	PHYT	SIN	NOP
EPE	IM	O2IM	STTHER	INSV	HIM	EUPAR	EURY	WC	LONG-LMA	LITH	SIN	NOP
PAP	TOL	O2TOL	EUTHER	PLAN	HTOL	EUPAR	EURY	B	RESID	PHLI	NA	NOP
PER	TOL	O2IM	EUTHER	INSV-PISC	HTOL	EUPAR	EURY	WC	RESID	PHLI	SIN	NOP
LPM	INTOL	O2IM	EUTHER	DETR	HINTOL	RHPAR	RH	B	LONG-LMA	LITH	SIN	NOP
VAI	IM	O2INTOL	EUTHER	INSV	HIM	RHPAR	RH	WC	RESID	LITH	FR	NOP
FLE	IM	O2IM	STTHER	INSV	HIM	NA	EURY	B	LONG-LMC	NA	NA	NA
PSR	TOL	O2TOL	EUTHER	OMNI	HTOL	EUPAR	LIMNO	WC	RESID	PHLI	FR	PROT
EPT	TOL	O2IM	EUTHER	INSV	HTOL	LIPAR	EURY	WC	RESID	PHYT	FR	PROT
BOU	IM	O2IM	EUTHER	HERB	HINTOL	LIPAR	LIMNO	WC	RESID	OSTR	FR	PROT
GAR	TOL	O2TOL	EUTHER	OMNI	HTOL	EUPAR	EURY	WC	RESID	PHLI	SIN	NOP
BLE	IM	O2IM	EUTHER	INSV	HIM	EUPAR	EURY	B	RESID	LITH	FR	PROT
SAT	INTOL	O2INTOL	STTHER	INSV-PISC	HINTOL	RHPAR	RH	WC	LONG-LMA	LITH	SIN	PROT
TRF	INTOL	O2INTOL	STTHER	INSV-PISC	HINTOL	RHPAR	RH	WC	POTAD	LITH	SIN	NOP
TRL	INTOL	O2INTOL	STTHER	INSV-PISC	HINTOL	RHPAR	RH	WC	POTAD	LITH	SIN	NOP
TRC	INTOL	O2INTOL	STTHER	INSV-PISC	HINTOL	RHPAR	RH	WC	POTAD	LITH	SIN	PROT
TRM	INTOL	O2INTOL	STTHER	INSV-PISC	HINTOL	RHPAR	RH	WC	LONG-LMA	LITH	SIN	NOP
SDF	INTOL	O2INTOL	STTHER	INSV-PISC	HINTOL	RHPAR	RH	WC	RESID	LITH	SIN	NOP
CRI	INTOL	O2INTOL	STTHER	INSV-PISC	HINTOL	LIPAR	LIMNO	WC	RESID	LITH	SIN	NOP
SAN	TOL	O2IM	EUTHER	PISC	HTOL	EUPAR	EURY	WC	RESID	PHLI	SIN	PROT
ROT	TOL	O2TOL	EUTHER	OMNI	HIM	LIPAR	LIMNO	WC	RESID	PHYT	FR	NOP
SIL	TOL	O2IM	EUTHER	PISC	HTOL	EUPAR	EURY	B	RESID	PHYT	SIN	PROT
OBR	INTOL	O2INTOL	STTHER	INSV	HINTOL	RHPAR	RH	WC	POTAD	LITH	SIN	PROT
TAN	TOL	O2TOL	EUTHER	OMNI	HINTOL	LIPAR	LIMNO	B	RESID	PHYT	FR	NOP
UMP	TOL	O2TOL	EUTHER	INSV	HTOL	LIPAR	LIMNO	B	RESID	PHYT	SIN	PROT
VIM	IM	O2IM	EUTHER	INSV	HINTOL	RHPAR	RH	B	POTAD	LITH	FR	NOP
APR	INTOL	O2INTOL	EUTHER	INSV	HINTOL	RHPAR	RH	B	POTAD	LITH	SIN	PROT

Les espèces encadrées sont regroupées.

## 13.6 Annexe 6 : Listes spécifiques par guildes

Tableau 146 – Liste des espèces EauGeneral.IM.

Nom d'espèce	Code	Nom d'espèce	Code
Acipenser sturio	EST	Lota lota	LOT
Aspius aspius	ASP	Oncorhynchus mykiss	TAC
Barbatula barbatula	LOF	Osmerus eperlanus	EPE
Cobitis bilineata		Phoxinus phoxinus	VAI
Cobitis taenia	LOR	Platichthys flesus	FLE
Esox lucius	BRO	Rhodeus amarus	BOU
Gobio gobio	GOU	Salaria fluviatilis	BLE
Leuciscus idus	IDE	Vimba vimba	VIM

Tableau 147 – Liste des espèces EauGeneral.INTOL.

Nom d'espèce	Code	Nom d'espèce	Code
Alburnoides bipunctatus	SPI	Lampetra sp.	LPX
Alosa alosa	ALA	Leuciscus burdigalensis	VAR
Alosa fallax	ALF	Leuciscus leuciscus	VAN
Alosa fallax rhodanensis	ALR	Leuciscus souffia	BLN
Barbus barbus	BAF	Petromyzon marinus	LPM
Barbus meridionalis	BAM	Salmo salar	SAT
Chondrostoma nasus	HOT	Salmo trutta fario	TRF
Chondrostoma toxostoma	TOX	Salmo trutta lacustris	TRL
Coregonus lavaretus	COR	Salmo trutta macrostigma	TRC
Cottus gobio	CHA	Salmo trutta trutta	TRM
Cottus petiti	CHP	Salvelinus fontinalis	SDF
Hucho hucho	HUC	Salvelinus namaycush	CRI
Lampetra fluviatilis	LPR	Thymallus thymallus	OBR
Lampetra planeri	LPP	Zingel asper	APR

Tableau 148 – Liste des espèces EauGeneral.TOL.

Nom d'espèce	Code	Nom d'espèce	Code
Abramis bjoerkna	BRB	Lepomis gibbosus	PES
Abramis brama	BRE	Leucaspius delineatus	ABH
Abramis sapa	BRD	Leuciscus cephalus	CHE
Alburnus alburnus	ABL	Micropterus salmoides	BBG
Ameiurus melas	PCH	Misgurnus fossilis	LOE
Anguilla anguilla	ANG	Pachychilon pictum	PAP
Carassius auratus	CAD	Perca fluviatilis	PER
Carassius carassius	CAS	Pseudorasbora parva	PSR
Carassius gibelio	CAG	Pungitius pungitius	EPT
	CAA	Rutilus rutilus	GAR
Cyprinus carpio	CCO	Sander lucioperca	SAN
Gambusia affinis	GAM	Scardinius erythrophthalmus	ROT
Gambusia holbrooki		Silurus glanis	SIL
Gasterosteus aculeatus	EPI	Tinca tinca	TAN
Gymnocephalus cernuus	GRE	Umbra pygmaea	UMP

Tableau 149 – Liste des espèces EauO2.O2IM.

Nom d'espèce	Code	Nom d'espèce	Code
Acipenser sturio	EST	Leuciscus cephalus	CHE
Alburnus alburnus	ABL	Leuciscus idus	IDE
Barbatula barbatula	LOF	Leuciscus leuciscus	VAN
Barbus barbus	BAF	Micropterus salmoides	BBG
Barbus meridionalis	BAM	Osmerus eperlanus	EPE
Chondrostoma nasus	HOT	Perca fluviatilis	PER
Chondrostoma toxostoma	TOX	Petromyzon marinus	LPM
Cobitis bilineata		Platichthys flesus	FLE
Cobitis taenia	LOR	Pungitius pungitius	EPT
Esox lucius	BRO	Rhodeus amarus	BOU
Gasterosteus aculeatus	EPI	Salaria fluviatilis	BLE
Gobio gobio	GOU	Sander lucioperca	SAN
Gymnocephalus cernuus	GRE	Silurus glanis	SIL
Leucaspius delineatus	ABH	Vimba vimba	VIM
Leuciscus burdigalensis	VAR		

Tableau 150 – Liste des espèces EauO2.O2INTOL.

Nom d'espèce	Code	Nom d'espèce	Code
Alburnoides bipunctatus	SPI	Lota lota	LOT
Alosa alosa	ALA	Oncorhynchus mykiss	TAC
Alosa fallax	ALF	Phoxinus phoxinus	VAI
Alosa fallax rhodanensis	ALR	Salmo salar	SAT
Aspius aspius	ASP	Salmo trutta fario	TRF
Coregonus lavaretus	COR	Salmo trutta lacustris	TRL
Cottus gobio	CHA	Salmo trutta macrostigma	TRC
Cottus petiti	CHP	Salmo trutta trutta	TRM
Hucho hucho	HUC	Salvelinus fontinalis	SDF
Lampetra fluviatilis	LPR	Salvelinus namaycush	CRI
Lampetra planeri	LPP	Thymallus thymallus	OBR
Lampetra sp.	LPX	Zingel asper	APR
Leuciscus souffia	BLN		

Tableau 151 – Liste des espèces EauO2.O2TOL.

Nom d'espèce	Code	Nom d'espèce	Code
Abramis bjoerkna	BRB	Gambusia affinis	GAM
Abramis brama	BRE	Gambusia holbrooki	
Abramis sapa	BRD	Lepomis gibbosus	PES
Ameiurus melas	PCH	Misgurnus fossilis	LOE
Anguilla anguilla	ANG	Pachychilon pictum	PAP
Carassius auratus	CAD	Pseudorasbora parva	PSR
Carassius carassius	CAS	Rutilus rutilus	GAR
Carassius gibelio	CAG	Scardinius erythrophthalmus	ROT
	CAA	Tinca tinca	TAN
Cyprinus carpio	CCO	Umbra pygmaea	UMP

*Tableau 152 – Liste des espèces EauTemp.EUTHER.*

Nom d'espèce	Code	Nom d'espèce	Code
Abramis bjoerkna	BRB	Gobio gobio	GOU
Abramis brama	BRE	Gymnocephalus cernuus	GRE
Abramis sapa	BRD	Lepomis gibbosus	PES
Acipenser sturio	EST	Leucaspis delineatus	ABH
Alburnus alburnus	ABL	Leuciscus burdigalensis	VAR
Alosa alosa	ALA	Leuciscus cephalus	CHE
Alosa fallax	ALF	Leuciscus idus	IDE
Alosa fallax rhodanensis	ALR	Leuciscus leuciscus	VAN
Ameiurus melas	PCH	Leuciscus souffia	BLN
Anguilla anguilla	ANG	Micropterus salmoides	BBG
Aspius aspius	ASP	Misgurnus fossilis	LOE
Barbatula barbatula	LOF	Pachychilon pictum	PAP
Barbus barbus	BAF	Perca fluviatilis	PER
Barbus meridionalis	BAM	Petromyzon marinus	LPM
Carassius auratus	CAD	Phoxinus phoxinus	VAI
Carassius carassius	CAS	Pseudorasbora parva	PSR
Carassius gibelio	CAG	Pungitius pungitius	EPT
	CAA	Rhodeus amarus	BOU
Chondrostoma nasus	HOT	Rutilus rutilus	GAR
Chondrostoma toxostoma	TOX	Salaria fluviatilis	BLE
Cobitis bilineata	NA	Sander lucioperca	SAN
Cobitis taenia	LOR	Scardinius erythrophthalmus	ROT
Cyprinus carpio	CCO	Silurus glanis	SIL
Esox lucius	BRO	Tinca tinca	TAN
Gambusia affinis	GAM	Umbra pygmaea	UMP
Gambusia holbrooki	NA	Vimba vimba	VIM
Gasterosteus aculeatus	EPI	Zingel asper	APR

*Tableau 153 – Liste des espèces EauTemp.STTHER.*

Nom d'espèce	Code	Nom d'espèce	Code
Alburnoides bipunctatus	SPI	Osmerus eperlanus	EPE
Coregonus lavaretus	COR	Platichthys flesus	FLE
Cottus gobio	CHA	Salmo salar	SAT
Cottus petiti	CHP	Salmo trutta fario	TRF
Hucho hucho	HUC	Salmo trutta lacustris	TRL
Lampetra fluviatilis	LPR	Salmo trutta macrostigma	TRC
Lampetra planeri	LPP	Salmo trutta trutta	TRM
Lampetra sp.	LPX	Salvelinus fontinalis	SDF
Lota lota	LOT	Salvelinus namaycush	CRI
Oncorhynchus mykiss	TAC	Thymallus thymallus	OBR

*Tableau 154 – Liste des espèces Hab.EURY.*

Nom d'espèce	Code	Nom d'espèce	Code
Alburnus alburnus	ABL	Lota lota	LOT
Anguilla anguilla	ANG	Oncorhynchus mykiss	TAC
Cobitis bilineata		Phoxinus phoxinus	VAI
Cobitis taenia	LOR	Pungitius pungitius	EPT
Cottus gobio	CHA	Salaria fluviatilis	BLE
Gasterosteus aculeatus	EPI	Salmo trutta fario	TRF
Gobio gobio	GOU	Salmo trutta lacustris	TRL
Leuciscus cephalus	CHE	Salmo trutta macrostigma	TRC
Leuciscus idus	IDE	Salmo trutta trutta	TRM

**Tableau 155 – Liste des espèces Hab.LIMNO.**

Nom d'espèce	Code	Nom d'espèce	Code
Abramis bjoerkna	BRB	Leucaspis delineatus	ABH
Abramis brama	BRE	Micropterus salmoides	BBG
Ameiurus melas	PCH	Misgurnus fossilis	LOE
Aspius aspius	ASP	Pachychilon pictum	PAP
Carassius auratus	CAD	Perca fluviatilis	PER
Carassius carassius	CAS	Platichthys flesus	FLE
Carassius gibelio	CAG	Pseudorasbora parva	PSR
	CAA	Rhodeus amarus	BOU
Coregonus lavaretus	COR	Rutilus rutilus	GAR
Cyprinus carpio	CCO	Salvelinus namaycush	CRI
Esox lucius	BRO	Sander lucioperca	SAN
Gambusia affinis	GAM	Scardinius erythrophthalmus	ROT
Gambusia holbrooki		Silurus glanis	SIL
Gymnocephalus cernuus	GRE	Tinca tinca	TAN
Lepomis gibbosus	PES	Umbrina pygmaea	UMP

**Tableau 156 – Liste des espèces Hab.RH.**

Nom d'espèce	Code	Nom d'espèce	Code
Abramis sapa	BRD	Lampetra fluviatilis	LPR
Acipenser sturio	EST	Lampetra planeri	LPP
Alburnoides bipunctatus	SPI	Lampetra sp.	LPX
Alosa alosa	ALA	Leuciscus burdigalensis	VAR
Alosa fallax	ALF	Leuciscus leuciscus	VAN
Alosa fallax rhodanensis	ALR	Leuciscus souffia	BLN
Barbatula barbatula	LOF	Osmerus eperlanus	EPE
Barbus barbus	BAF	Petromyzon marinus	LPM
Barbus meridionalis	BAM	Salmo salar	SAT
Chondrostoma nasus	HOT	Salvelinus fontinalis	SDF
Chondrostoma toxostoma	TOX	Thymallus thymallus	OBR
Cottus petiti	CHP	Vimba vimba	VIM
Hucho hucho	HUC	Zingel asper	APR

**Tableau 157 – Liste des espèces HabGlob.HIM.**

Nom d'espèce	Code	Nom d'espèce	Code
Barbatula barbatula	LOF	Micropterus salmoides	BBG
Cobitis bilineata		Oncorhynchus mykiss	TAC
Cobitis taenia	LOR	Osmerus eperlanus	EPE
Gobio gobio	GOU	Phoxinus phoxinus	VAI
Leucaspis delineatus	ABH	Platichthys flesus	FLE
Leuciscus burdigalensis	VAR	Salaria fluviatilis	BLE
Leuciscus idus	IDE	Scardinius erythrophthalmus	ROT
Leuciscus leuciscus	VAN		

*Tableau 158 – Liste des espèces HabGlob.HINTOL.*

Nom d'espèce	Code	Nom d'espèce	Code
Acipenser sturio	EST	Leuciscus souffia	BLN
Alburnoides bipunctatus	SPI	Lota lota	LOT
Alosa alosa	ALA	Misgurnus fossilis	LOE
Alosa fallax	ALF	Petromyzon marinus	LPM
Alosa fallax rhodanensis	ALR	Rhodeus amarus	BOU
Barbus barbus	BAF	Salmo salar	SAT
Barbus meridionalis	BAM	Salmo trutta fario	TRF
Chondrostoma nasus	HOT	Salmo trutta lacustris	TRL
Chondrostoma toxostoma	TOX	Salmo trutta macrostigma	TRC
Coregonus lavaretus	COR	Salmo trutta trutta	TRM
Cottus gobio	CHA	Salvelinus fontinalis	SDF
Cottus petiti	CHP	Salvelinus namaycush	CRI
Esox lucius	BRO	Thymallus thymallus	OBR
Hucho hucho	HUC	Tinca tinca	TAN
Lampetra fluviatilis	LPR	Vimba vimba	VIM
Lampetra planeri	LPP	Zingel asper	APR
Lampetra sp.	LPX		

*Tableau 159 – Liste des espèces HabGlob.HTOL.*

Nom d'espèce	Code	Nom d'espèce	Code
Abramis bjoerkna	BRB	Gambusia holbrooki	NA
Abramis brama	BRE	Gasterosteus aculeatus	EPI
Abramis sapa	BRD	Gymnocephalus cernuus	GRE
Alburnus alburnus	ABL	Lepomis gibbosus	PES
Ameiurus melas	PCH	Leuciscus cephalus	CHE
Anguilla anguilla	ANG	Pachychilon pictum	PAP
Aspius aspius	ASP	Perca fluviatilis	PER
Carassius auratus	CAD	Pseudorasbora parva	PSR
Carassius carassius	CAS	Pungitius pungitius	EPT
Carassius gibelio	CAG	Rutilus rutilus	GAR
	CAA	Sander lucioperca	SAN
Cyprinus carpio	CCO	Silurus glanis	SIL
Gambusia affinis	GAM	Umbra pygmaea	UMP

*Tableau 160 – Liste des espèces HabRepro.EUPAR.*

Nom d'espèce	Code	Nom d'espèce	Code
Cobitis taenia	LOR	Perca fluviatilis	PER
Gymnocephalus cernuus	GRE	Pseudorasbora parva	PSR
Leuciscus idus	IDE	Rutilus rutilus	GAR
Lota lota	LOT	Salaria fluviatilis	BLE
Osmerus eperlanus	EPE	Sander lucioperca	SAN
Pachychilon pictum	PAP	Silurus glanis	SIL

*Tableau 161 – Liste des espèces HabRepro.LIPAR.*

Nom d'espèce	Code	Nom d'espèce	Code
Abramis bjoerkna	BRB	Gambusia holbrooki	
Abramis brama	BRE	Gasterosteus aculeatus	EPI
Alburnus alburnus	ABL	Lepomis gibbosus	PES
Ameiurus melas	PCH	Leucaspis delineatus	ABH
Carassius auratus	CAD	Micropterus salmoides	BBG
Carassius carassius	CAS	Misgurnus fossilis	LOE
Carassius gibelio	CAG	Pungitius pungitius	EPT
	CAA	Rhodeus amarus	BOU
Coregonus lavaretus	COR	Salvelinus namaycush	CRI
Cyprinus carpio	CCO	Scardinius erythrophthalmus	ROT
Esox lucius	BRO	Tinca tinca	TAN
Gambusia affinis	GAM	Umbra pygmaea	UMP

**Tableau 162 – Liste des espèces HabRepro.RHPAR.**

Nom d'espèce	Code	Nom d'espèce	Code
Abramis sapa	BRD	Lampetra planeri	LPP
Acipenser sturio	EST	Lampetra sp.	LPX
Alburnoides bipunctatus	SPI	Leuciscus burdigalensis	VAR
Alosa alosa	ALA	Leuciscus cephalus	CHE
Alosa fallax	ALF	Leuciscus leuciscus	VAN
Alosa fallax rhodanensis	ALR	Leuciscus souffia	BLN
Aspius aspius	ASP	Oncorhynchus mykiss	TAC
Barbatula barbatula	LOF	Petromyzon marinus	LPM
Barbus barbus	BAF	Phoxinus phoxinus	VAI
Barbus meridionalis	BAM	Salmo salar	SAT
Chondrostoma nasus	HOT	Salmo trutta fario	TRF
Chondrostoma toxostoma	TOX	Salmo trutta lacustris	TRL
Cobitis bilineata	NA	Salmo trutta macrostigma	TRC
Cottus gobio	CHA	Salmo trutta trutta	TRM
Cottus petiti	CHP	Salvelinus fontinalis	SDF
Gobio gobio	GOU	Thymallus thymallus	OBR
Hucho hucho	HUC	Vimba vimba	VIM
Lampetra fluviatilis	LPR	Zingel asper	APR

**Tableau 163 – Liste des espèces HabTroph.B.**

Nom d'espèce	Code	Nom d'espèce	Code
Abramis bjoerkna	BRB	Cottus petiti	CHP
Abramis brama	BRE	Cyprinus carpio	CCO
Abramis sapa	BRD	Gobio gobio	GOU
Acipenser sturio	EST	Gymnocephalus cernuus	GRE
Ameiurus melas	PCH	Lampetra fluviatilis	LPR
Anguilla anguilla	ANG	Lampetra planeri	LPP
Barbatula barbatula	LOF	Lampetra sp.	LPX
Barbus barbus	BAF	Lota lota	LOT
Barbus meridionalis	BAM	Misgurnus fossilis	LOE
Carassius auratus	CAD	Pachychilon pictum	PAP
Carassius carassius	CAS	Petromyzon marinus	LPM
Carassius gibelio	CAG	Platichthys flesus	FLE
	CAA	Salaria fluviatilis	BLE
Chondrostoma nasus	HOT	Silurus glanis	SIL
Chondrostoma toxostoma	TOX	Tinca tinca	TAN
Cobitis bilineata		Umbrina pygmaea	UMP
Cobitis taenia	LOR	Vimba vimba	VIM
Cottus gobio	CHA	Zingel asper	APR

**Tableau 164 – Liste des espèces HabTroph.WC.**

Nom d'espèce	Code	Nom d'espèce	Code
Alburnoides bipunctatus	SPI	Micropterus salmoides	BBG
Alburnus alburnus	ABL	Oncorhynchus mykiss	TAC
Alosa alosa	ALA	Osmerus eperlanus	EPE
Alosa fallax	ALF	Perca fluviatilis	PER
Alosa fallax rhodanensis	ALR	Phoxinus phoxinus	VAI
Aspius aspius	ASP	Pseudorasbora parva	PSR
Coregonus lavaretus	COR	Pungitius pungitius	EPT
Esox lucius	BRO	Rhodeus amarus	BOU
Gambusia affinis	GAM	Rutilus rutilus	GAR
Gambusia holbrooki		Salmo salar	SAT
Gasterosteus aculeatus	EPI	Salmo trutta fario	TRF
Hucho hucho	HUC	Salmo trutta lacustris	TRL
Lepomis gibbosus	PES	Salmo trutta macrostigma	TRC
Leucaspis delineatus	ABH	Salmo trutta trutta	TRM
Leuciscus burdigalensis	VAR	Salvelinus fontinalis	SDF
Leuciscus cephalus	CHE	Salvelinus namaycush	CRI
Leuciscus idus	IDE	Sander lucioperca	SAN
Leuciscus leuciscus	VAN	Scardinius erythrophthalmus	ROT
Leuciscus souffia	BLN	Thymallus thymallus	OBR

*Tableau 165 – Liste des espèces Migration.LONG-LMA.*

<b>Nom d'espèce</b>	<b>Code</b>	<b>Nom d'espèce</b>	<b>Code</b>
Acipenser sturio	EST	Osmerus eperlanus	EPE
Alosa alosa	ALA	Petromyzon marinus	LPM
Alosa fallax	ALF	Salmo salar	SAT
Alosa fallax rhodanensis	ALR	Salmo trutta trutta	TRM
Lampetra fluviatilis	LPR		

*Tableau 166 – Liste des espèces Migration.LONG-LMC.*

<b>Nom d'espèce</b>	<b>Code</b>	<b>Nom d'espèce</b>	<b>Code</b>
Anguilla anguilla	ANG	Platichthys flesus	FLE

*Tableau 167 – Liste des espèces Migration.POTAD.*

<b>Nom d'espèce</b>	<b>Code</b>	<b>Nom d'espèce</b>	<b>Code</b>
Abramis sapa	BRD	Leuciscus idus	IDE
Aspius aspius	ASP	Leuciscus leuciscus	VAN
Barbus barbus	BAF	Lota lota	LOT
Barbus meridionalis	BAM	Oncorhynchus mykiss	TAC
Chondrostoma nasus	HOT	Salmo trutta fario	TRF
Chondrostoma toxostoma	TOX	Salmo trutta lacustris	TRL
Esox lucius	BRO	Salmo trutta macrostigma	TRC
Hucho hucho	HUC	Thymallus thymallus	OBR
		Vimba vimba	VIM
Leuciscus burdigalensis	VAR	Zingel asper	APR
Leuciscus cephalus	CHE		

*Tableau 168 – Liste des espèces Migration.RESID.*

<b>Nom d'espèce</b>	<b>Code</b>	<b>Nom d'espèce</b>	<b>Code</b>
Abramis bjoerkna	BRB	Lampetra planeri	LPP
Abramis brama	BRE	Lepomis gibbosus	PES
Alburnoides bipunctatus	SPI	Leucaspis delineatus	ABH
Alburnus alburnus	ABL	Leuciscus souffia	BLN
Ameiurus melas	PCH	Micropterus salmoides	BBG
Barbatula barbatula	LOF	Misgurnus fossilis	LOE
Carassius auratus	CAD	Pachychilon pictum	PAP
Carassius carassius	CAS	Perca fluviatilis	PER
Carassius gibelio	CAG	Phoxinus phoxinus	VAI
	CAA	Pseudorasbora parva	PSR
Cobitis bilineata		Pungitius pungitius	EPT
Cobitis taenia	LOR	Rhodeus amarus	BOU
Coregonus lavaretus	COR	Rutilus rutilus	GAR
Cottus gobio	CHA	Salaria fluviatilis	BLE
Cottus petiti	CHP	Salvelinus fontinalis	SDF
Cyprinus carpio	CCO	Salvelinus namaycush	CRI
Gambusia affinis	GAM	Sander lucioperca	SAN
Gambusia holbrooki		Scardinius erythrophthalmus	ROT
Gasterosteus aculeatus	EPI	Silurus glanis	SIL
Gobio gobio	GOU	Tinca tinca	TAN
Gymnocephalus cernuus	GRE	Umbra pygmaea	UMP

Tableau 169 – Liste des espèces PC.NOP.

Nom d'espèce	Code	Nom d'espèce	Code
Abramis bjoerkna	BRB	Hucho hucho	HUC
Abramis brama	BRE	Lampetra fluviatilis	LPR
Abramis sapa	BRD	Lampetra planeri	LPP
Acipenser sturio	EST	Lampetra sp.	LPX
Alburnoides bipunctatus	SPI	Leuciscus burdigalensis	VAR
Alburnus alburnus	ABL	Leuciscus cephalus	CHE
Alosa alosa	ALA	Leuciscus idus	IDE
Alosa fallax	ALF	Leuciscus leuciscus	VAN
Alosa fallax rhodanensis	ALR	Leuciscus souffia	BLN
Aspius aspius	ASP	Lota lota	LOT
Barbatula barbatula	LOF	Misgurnus fossilis	LOE
Barbus barbus	BAF	Oncorhynchus mykiss	TAC
Barbus meridionalis	BAM	Osmerus eperlanus	EPE
Carassius auratus	CAD	Pachychilon pictum	PAP
Carassius carassius	CAS	Perca fluviatilis	PER
Carassius gibelio	CAG	Petromyzon marinus	LPM
	CAA	Phoxinus phoxinus	VAI
Chondrostoma nasus	HOT	Rutilus rutilus	GAR
Chondrostoma toxostoma	TOX	Salmo trutta fario	TRF
Cobitis bilineata		Salmo trutta lacustris	TRL
Cobitis taenia	LOR	Salmo trutta trutta	TRM
Coregonus lavaretus	COR	Salvelinus fontinalis	SDF
Cyprinus carpio	CCO	Salvelinus namaycush	CRI
Esox lucius	BRO	Scardinius erythrophthalmus	ROT
Gobio gobio	GOU	Tinca tinca	TAN
Gymnocephalus cernuus	GRE	Vimba vimba	VIM

Tableau 170 – Liste des espèces PC.PROT.

Nom d'espèce	Code	Nom d'espèce	Code
Ameiurus melas	PCH	Pungitius pungitius	EPT
Cottus gobio	CHA	Rhodeus amarus	BOU
Cottus petiti	CHP	Salaria fluviatilis	BLE
Gambusia affinis	GAM	Salmo salar	SAT
Gambusia holbrooki		Salmo trutta macrostigma	TRC
Gasterosteus aculeatus	EPI	Sander lucioperca	SAN
Lepomis gibbosus	PES	Silurus glanis	SIL
Leucaspis delineatus	ABH	Thymallus thymallus	OBR
Micropterus salmoides	BBG	Umbra pygmaea	UMP
Pseudorasbora parva	PSR	Zingel asper	APR

*Tableau 171 – Liste des espèces Repr.LITH.*

Nom d'espèce	Code	Nom d'espèce	Code
Abramis sapa	BRD	Leuciscus burdigalensis	VAR
Acipenser sturio	EST	Leuciscus cephalus	CHE
Alburnoides bipunctatus	SPI	Leuciscus leuciscus	VAN
Alosa alosa	ALA	Leuciscus souffia	BLN
Alosa fallax	ALF	Lota lota	LOT
Alosa fallax rhodanensis	ALR	Oncorhynchus mykiss	TAC
Ameiurus melas	PCH	Osmerus eperlanus	EPE
Aspius aspius	ASP	Petromyzon marinus	LPM
Barbatula barbatula	LOF	Phoxinus phoxinus	VAI
Barbus barbus	BAF	Salaria fluviatilis	BLE
Barbus meridionalis	BAM	Salmo salar	SAT
Chondrostoma nasus	HOT	Salmo trutta fario	TRF
Chondrostoma toxostoma	TOX	Salmo trutta lacustris	TRL
Coregonus lavaretus	COR	Salmo trutta macrostigma	TRC
Cottus gobio	CHA	Salmo trutta trutta	TRM
Cottus petiti	CHP	Salvelinus fontinalis	SDF
Hucho hucho	HUC	Salvelinus namaycush	CRI
Lampetra fluviatilis	LPR	Thymallus thymallus	OBR
Lampetra planeri	LPP	Vimba vimba	VIM
Lampetra sp.	LPX	Zingel asper	APR

*Tableau 172 – Liste des espèces Repr.OSTR.*

Nom d'espèce	Code
Rhodeus amarus	BOU

*Tableau 173 – Liste des espèces Repr.PHLI.*

Nom d'espèce	Code	Nom d'espèce	Code
Abramis bjoerkna	BRB	Micropterus salmoides	BBG
Abramis brama	BRE	Pachychilon pictum	PAP
Alburnus alburnus	ABL	Perca fluviatilis	PER
Gobio gobio	GOU	Pseudorasbora parva	PSR
Gymnocephalus cernuus	GRE	Rutilus rutilus	GAR
Lepomis gibbosus	PES	Sander lucioperca	SAN
Leuciscus idus	IDE		

*Tableau 174 – Liste des espèces Repr.PHYT.*

Nom d'espèce	Code	Nom d'espèce	Code
Carassius auratus	CAD	Gasterosteus aculeatus	EPI
Carassius carassius	CAS	Leucaspis delineatus	ABH
Carassius gibelio	CAG	Misgurnus fossilis	LOE
	CAA	Pungitius pungitius	EPT
Cobitis bilineata		Scardinius erythrophthalmus	ROT
Cobitis taenia	LOR	Silurus glanis	SIL
Cyprinus carpio	CCO	Tinca tinca	TAN
Esox lucius	BRO	Umbra pygmaea	UMP

*Tableau 175 – Liste des espèces Repr.VIVI.*

Nom d'espèce	Code	Nom d'espèce	Code
Gambusia affinis	GAM	Gambusia holbrooki	

*Tableau 176 – Liste des espèces ReproB.FR.*

Nom d'espèce	Code	Nom d'espèce	Code
Alburnoides bipunctatus	SPI	Lepomis gibbosus	PES
Alburnus alburnus	ABL	Leucaspius delineatus	ABH
Barbatula barbatula	LOF	Leuciscus cephalus	CHE
Barbus barbus	BAF	Micropterus salmoides	BBG
Carassius auratus	CAD	Phoxinus phoxinus	VAI
Carassius carassius	CAS	Pseudorasbora parva	PSR
Carassius gibelio	CAG	Pungitius pungitius	EPT
	CAA	Rhodeus amarus	BOU
Cobitis bilineata		Salaria fluviatilis	BLE
Cobitis taenia	LOR	Scardinius erythrophthalmus	ROT
Gobio gobio	GOU	Tinca tinca	TAN
Gymnocephalus cernuus	GRE	Vimba vimba	VIM

*Tableau 177 – Liste des espèces ReproB.PRO.*

Nom d'espèce	Code	Nom d'espèce	Code
Abramis bjoerkna	BRB	Gambusia holbrooki	
Gambusia affinis	GAM	Gasterosteus aculeatus	EPI

*Tableau 178 – Liste des espèces ReproB.SIN.*

Nom d'espèce	Code	Nom d'espèce	Code
Abramis brama	BRE	Lota lota	LOT
Abramis sapa	BRD	Misgurnus fossilis	LOE
Acipenser sturio	EST	Oncorhynchus mykiss	TAC
Alosa alosa	ALA	Osmerus eperlanus	EPE
Alosa fallax	ALF	Perca fluviatilis	PER
Alosa fallax rhodanensis	ALR	Petromyzon marinus	LPM
Ameiurus melas	PCH	Rutilus rutilus	GAR
Aspius aspius	ASP	Salmo salar	SAT
Barbus meridionalis	BAM	Salmo trutta fario	TRF
Chondrostoma nasus	HOT	Salmo trutta lacustris	TRL
Chondrostoma toxostoma	TOX	Salmo trutta macrostigma	TRC
Coregonus lavaretus	COR	Salmo trutta trutta	TRM
Cottus gobio	CHA	Salvelinus fontinalis	SDF
Cottus petiti	CHP	Salvelinus namaycush	CRI
Cyprinus carpio	CCO	Sander lucioperca	SAN
Esox lucius	BRO	Silurus glanis	SIL
Hucho hucho	HUC	Thymallus thymallus	OBR
Lampetra fluviatilis	LPR	Umbra pygmaea	UMP
Lampetra planeri	LPP	Zingel asper	APR
Lampetra sp.	LPX	Oncorhynchus mykiss	TAC
Leuciscus burdigalensis	VAR	Osmerus eperlanus	EPE
Leuciscus idus	IDE	Perca fluviatilis	PER
Leuciscus leuciscus	VAN	Petromyzon marinus	LPM
Leuciscus souffia	BLN		

*Tableau 179 – Liste des espèces Troph.DETR.*

Nom d'espèce	Code	Nom d'espèce	Code
Lampetra fluviatilis	LPR	Lampetra sp.	LPX
Lampetra planeri	LPP	Petromyzon marinus	LPM

*Tableau 180 – Liste des espèces Troph.HERB.*

Nom d'espèce	Code	Nom d'espèce	Code
Chondrostoma nasus	HOT	Rhodeus amarus	BOU
Chondrostoma toxostoma	TOX		

*Tableau 181 – Liste des espèces Troph.INSV.*

Nom d'espèce	Code	Nom d'espèce	Code
Abramis sapa	BRD	Gasterosteus aculeatus	EPI
Acipenser sturio	EST	Gymnocephalus cernuus	GRE
Alburnoides bipunctatus	SPI	Lepomis gibbosus	PES
Alburnus alburnus	ABL	Leuciscus souffia	BLN
Ameiurus melas	PCH	Misgurnus fossilis	LOE
Barbatula barbatula	LOF	Osmerus eperlanus	EPE
Barbus meridionalis	BAM	Phoxinus phoxinus	VAI
Cobitis bilineata		Platichthys flesus	FLE
Cobitis taenia	LOR	Pungitius pungitius	EPT
Coregonus lavaretus	COR	Salaria fluviatilis	BLE
Cottus gobio	CHA	Thymallus thymallus	OBR
Cottus petiti	CHP	Umbra pygmaea	UMP
Gambusia affinis	GAM	Vimba vimba	VIM
Gambusia holbrooki		Zingel asper	APR

Tableau 182 – Liste des espèces Troph.INSV-PISC.

Nom d'espèce	Code	Nom d'espèce	Code
Anguilla anguilla	ANG	Salmo trutta lacustris	TRL
Oncorhynchus mykiss	TAC	Salmo trutta macrostigma	TRC
Perca fluviatilis	PER	Salmo trutta trutta	TRM
Salmo salar	SAT	Salvelinus fontinalis	SDF
Salmo trutta fario	TRF	Salvelinus namaycush	CRI

Tableau 183 – Liste des espèces Troph.OMNI.

Nom d'espèce	Code	Nom d'espèce	Code
Abramis bjoerkna	BRB	Leucasplus delineatus	ABH
Abramis brama	BRE	Leuciscus burdigalensis	VAR
Barbus barbus	BAF	Leuciscus cephalus	CHE
Carassius auratus	CAD	Leuciscus idus	IDE
Carassius carassius	CAS	Leuciscus leuciscus	VAN
Carassius gibelio	CAG	Pseudorasbora parva	PSR
	CAA	Rutilus rutilus	GAR
Cyprinus carpio	CCO	Scardinius erythrophthalmus	ROT
Gobio gobio	GOU	Tinca tinca	TAN

Tableau 184 – Liste des espèces Troph.PISC.

Nom d'espèce	Code	Nom d'espèce	Code
Aspius aspius	ASP	Micropterus salmoides	BBG
Esox lucius	BRO	Sander lucioperca	SAN
Hucho hucho	HUC	Silurus glanis	SIL
Lota lota	LOT		

Tableau 185 – Liste des espèces Troph.PLAN.

Nom d'espèce	Code	Nom d'espèce	Code
Alosa alosa	ALA	Alosa fallax rhodanensis	ALR
Alosa fallax	ALF	Pachychilon pictum	PAP

## 13.7 Annexe 7 : Diagnostiques des modèles statistiques

Les graphiques permettant de diagnostiquer la qualité des modèles statistiques sont présentés ci-après et ce, pour les 10 métriques « fonctionnelles » et pour la métrique « classe de tailles truite ».

L'évaluation qualitative des modèles est fondée sur les analyses de 6 graphiques différents représentant :

- la distribution des résidus de Pearson (en rouge : courbe de densité estimée ; en noir : courbe normale théorique), qui permet de vérifier normalité de ces derniers ;
- le QQ-plot des résidus standardisés contre les quantiles théoriques normaux, pour les mêmes raisons ;
- la relation entre les résidus en fonction des valeurs ajustées, dans le but d'analyser la structure des résidus ;
- de l'effet levier contre les résidus standardisés, afin de pouvoir détecter les points influents des modèles ;
- la relation entre les valeurs observées des métriques et leurs valeurs prédites par les modèles, afin de vérifier la validité de ces derniers ;
- la distribution de la RMSE obtenue par bootstrap (Davidson & Hinkley, 1997), afin de vérifier sa stabilité.

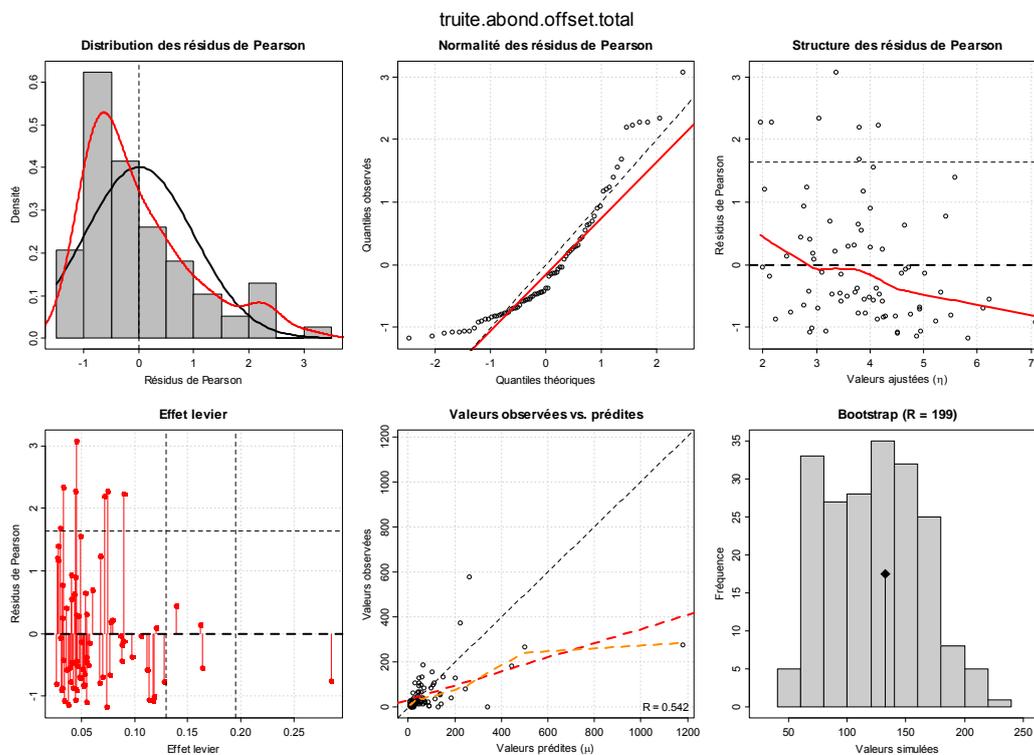


Figure 88 – Graphiques de diagnostic du modèle *truite.abond.offset.total*.

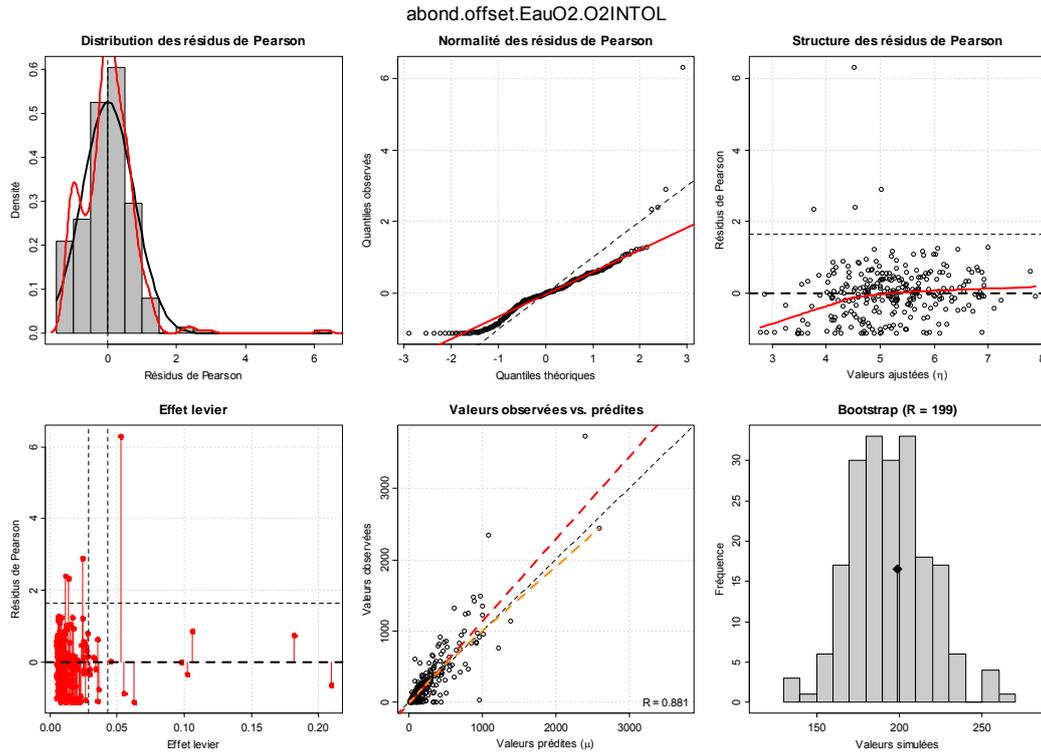


Figure 89 – Graphique de diagnostic du modèle *abond.offset.EauO2.O2INTOL*.

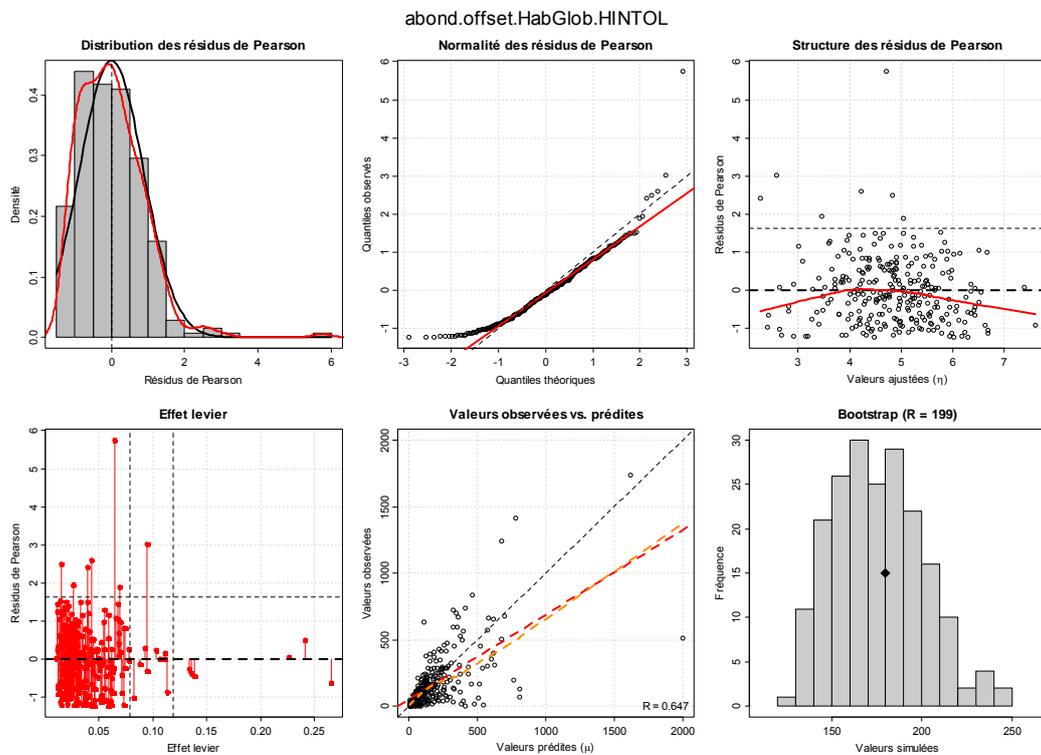


Figure 90 – Graphique de diagnostic du modèle *abond.offset.HabGlob.HINTOL*.

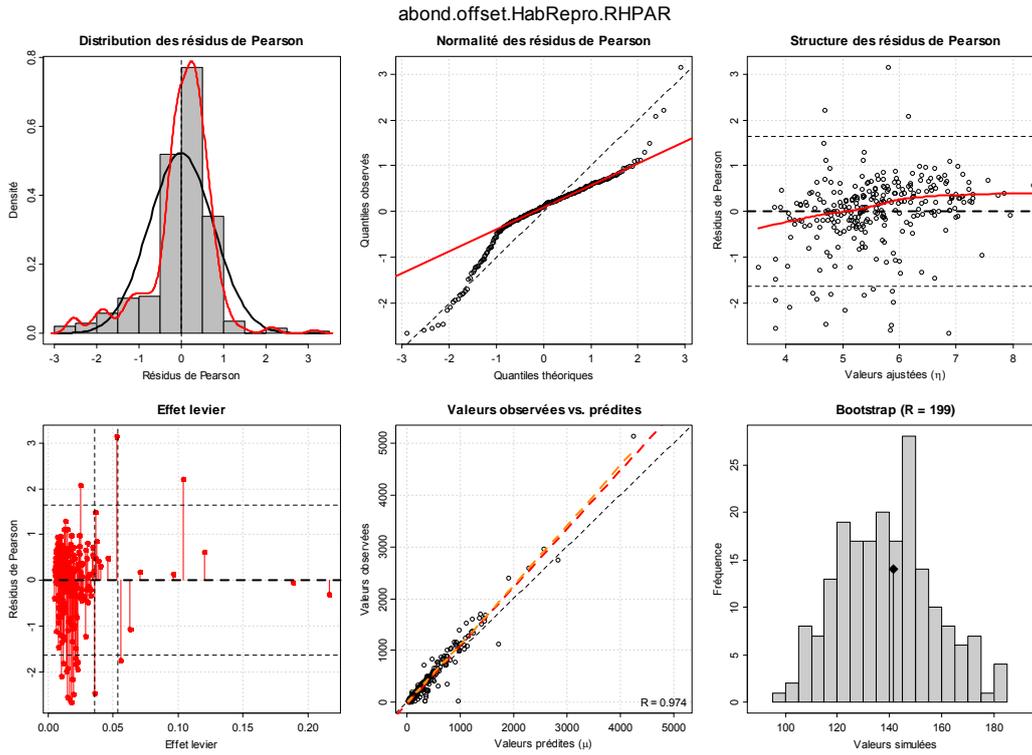


Figure 91 – Graphique de diagnostic du modèle *abond.offset.HabRepro.RHPAR*.

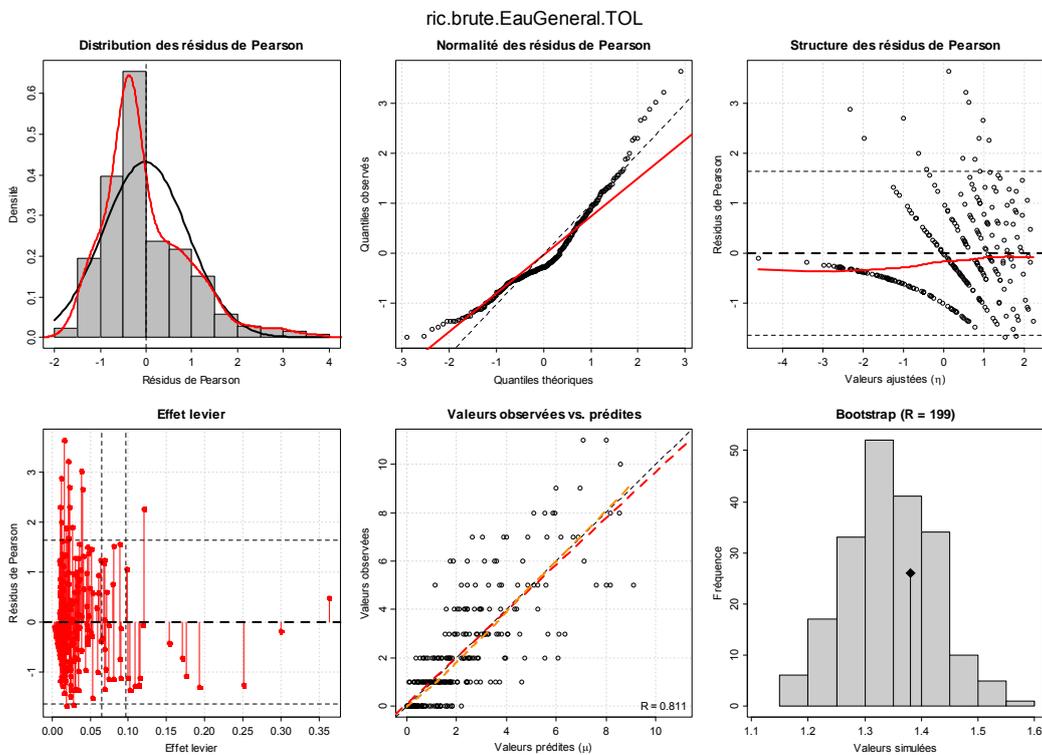


Figure 92 – Graphique de diagnostic du modèle *ric.brute.EauGeneral.TOL*.

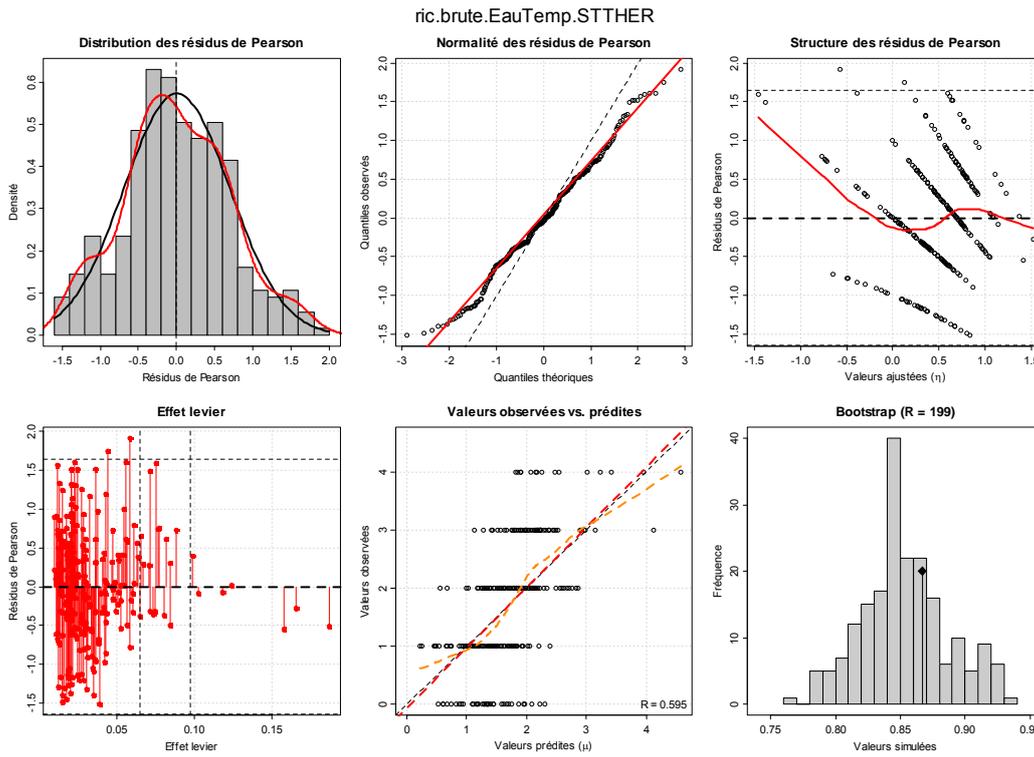


Figure 93 – Graphique de diagnostic du modèle *ric.brute.EauTemp.STTHER*.

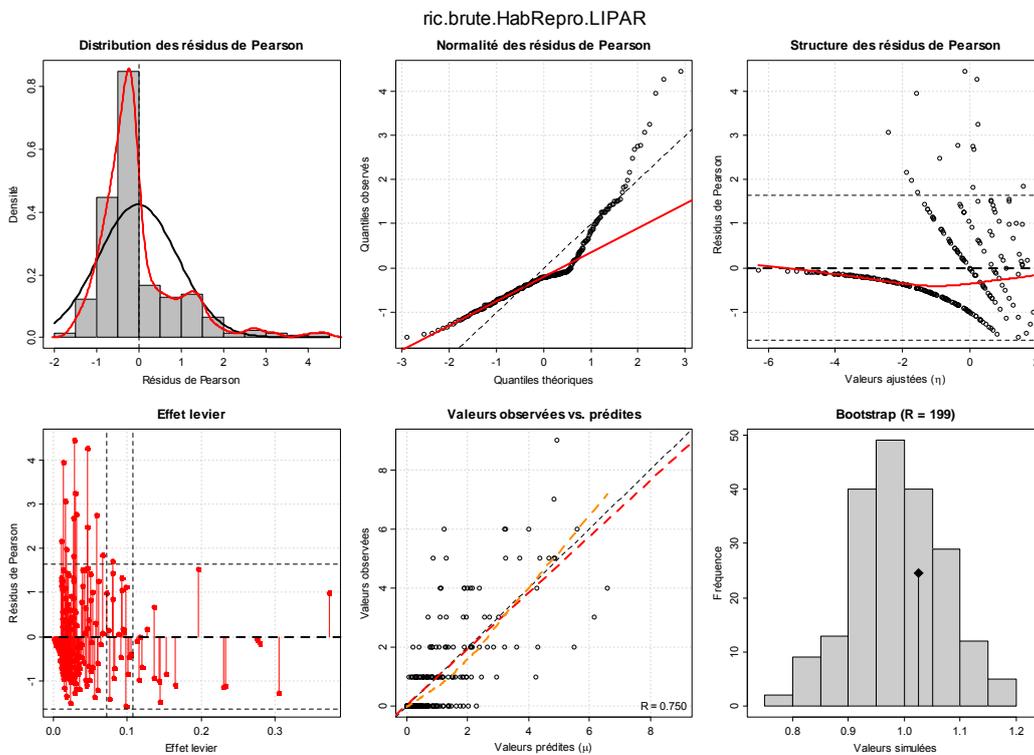
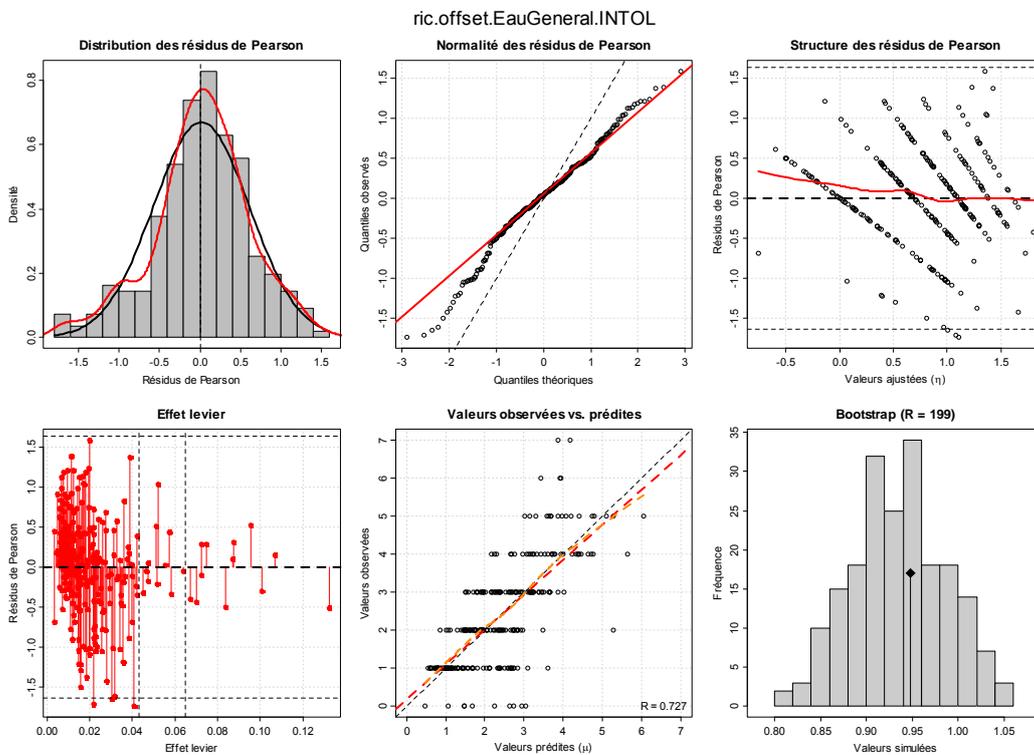
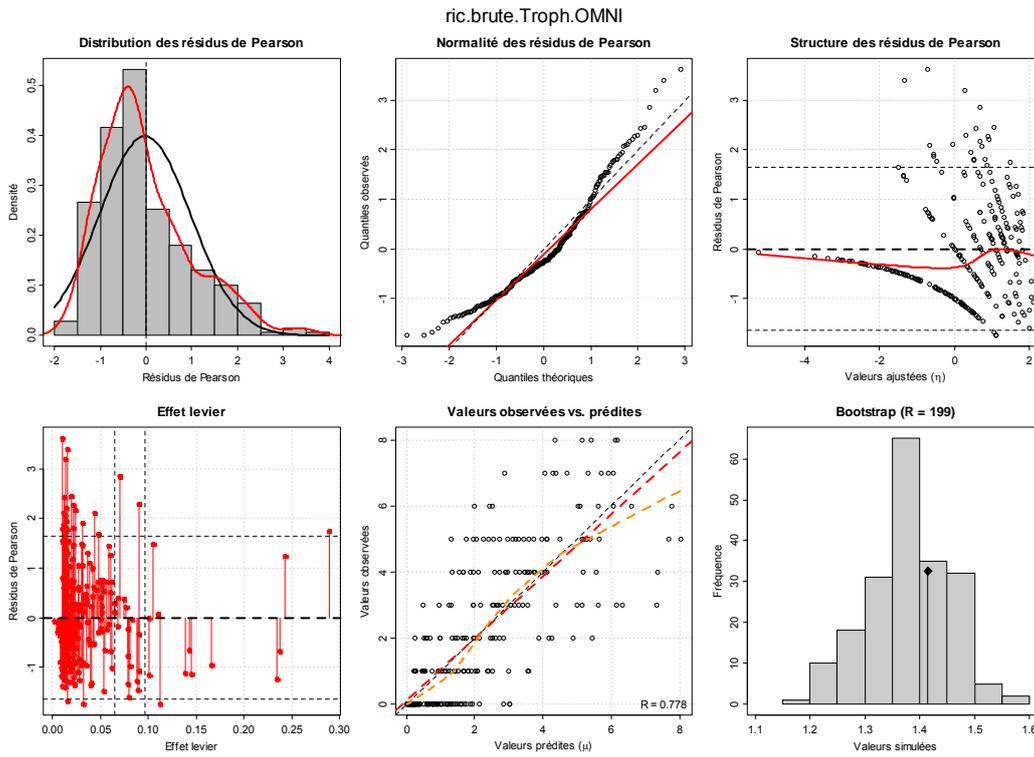


Figure 94 – Graphique de diagnostic du modèle *ric.brute.HabRepro.LIPAR*.



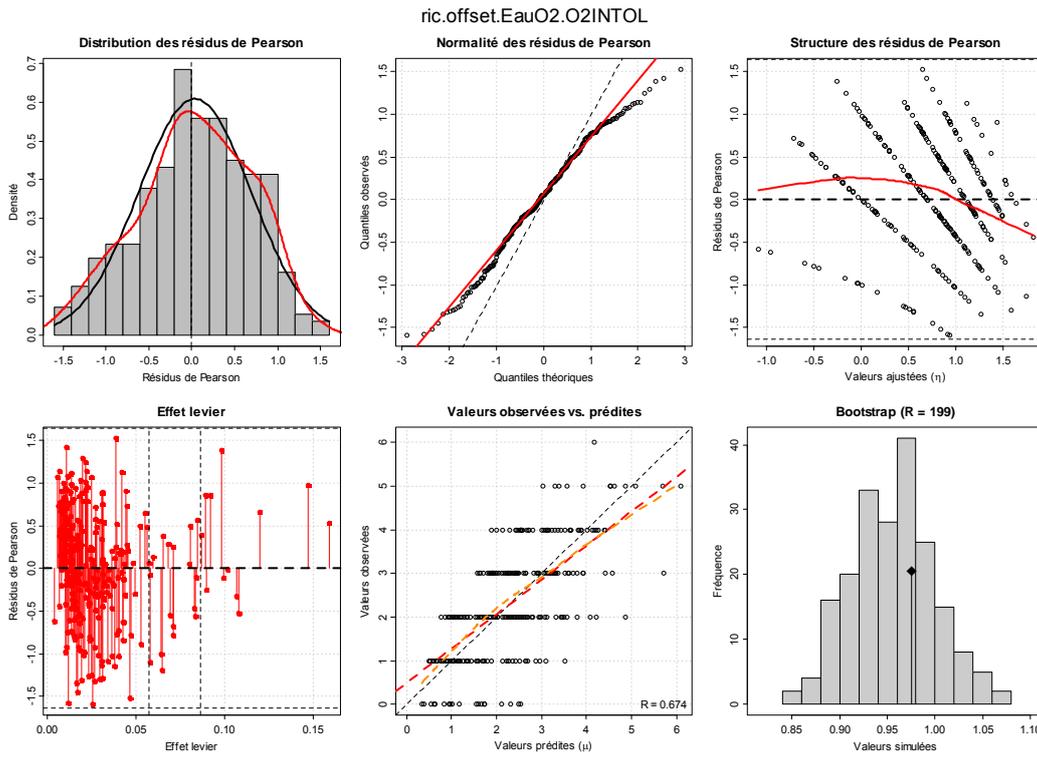


Figure 97 – Graphique de diagnostique du modèle *ric.offset.EauO2.O2INTOL*.

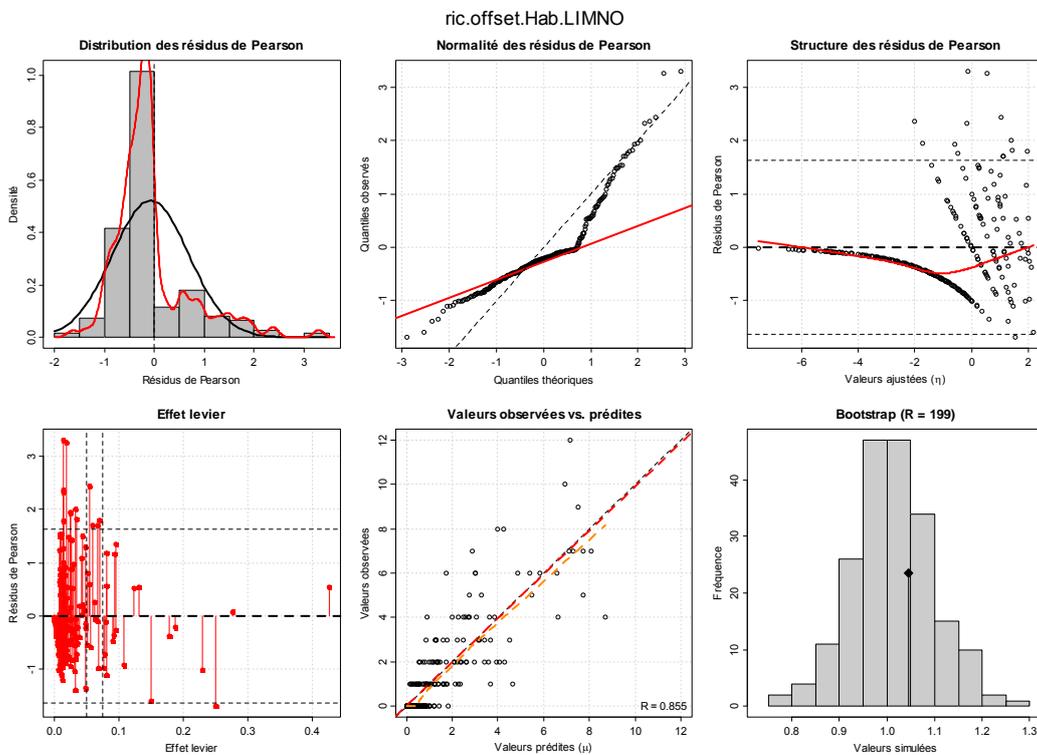


Figure 98 – Graphique de diagnostique du modèle *ric.offset.Hab.LIMNO*.

**ONEMA**  
Hall C – Le Nadar  
5 square Félix Nadar  
94300 Vincennes  
01 45 14 36 00  
[www.onema.fr](http://www.onema.fr)

**IRSTEA**  
1 rue Pierre-Gilles de Gennes  
CS 10030  
92761 Antony CEDEX  
01 40 96 61 21  
[www.irstea.fr](http://www.irstea.fr)