

Incertitudes liées à l'échantillonnage

**EFFET DE LA DATE DE LA CAMPAGNE DE PECHE SUR L'EVALUATION DE L'ETAT
ECOLOGIQUE DES PLANS D'EAU PAR L'ICHTYOFAUNE**

**P. Miguet
M. Logez
C. Argillier**

21/12/2018

Document final

Avec le soutien de

Contexte de programmation et de réalisation

Ce rapport a été réalisé dans le cadre du programme scientifique et technique AQUAREF pour l'année 2017, au titre de l'action n°78 bis « Indicateur ichtyofaune de l'état écologique - analyse des incertitudes associées » du thème B « Mettre en œuvre les méthodes de bioindication dans la surveillance et l'évaluation ».

Auteurs :

Paul Miguet

*Irstea, UR RECOVER, Pôle de Recherche & Développement AFB-Irstea "Hydroécologie des Plans d'eau", Centre d'Aix-en-Provence, 3275 route Cézanne, F-13182, Aix-en-Provence, France
paul.miguet@irstea.fr*

Maxime Logez

*Irstea, UR RECOVER, Pôle de Recherche & Développement AFB-Irstea "Hydroécologie des Plans d'eau", Centre d'Aix-en-Provence, 3275 route Cézanne, F-13182, Aix-en-Provence, France
maxime.logez@irstea.fr*

Christine Argillier

*Irstea, UR RECOVER, Pôle de Recherche & Développement AFB-Irstea "Hydroécologie des Plans d'eau", Centre d'Aix-en-Provence, 3275 route Cézanne, F-13182, Aix-en-Provence, France
christine.argillier@irstea.fr*

Vérification du document :

Sophie Lardy-Fontan

*Laboratoire national de métrologie et d'essais (LNE)
sophie.lardy-fontan@lne.fr*

Dominique Soudant

*Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (Ifremer)
dominique.soudant@ifremer.fr*

Les correspondants

AFB : Yorick Reyjol, Jean-Claude Raymond

Irstea : Christine Argillier

Référence du document : Paul Miguet, Maxime Logez, Christine Argillier - Incertitudes liées à l'échantillonnage. Effet de la date de la campagne de pêche sur l'évaluation de l'état écologique des plans d'eau par l'ichtyofaune - Rapport AQUAREF 2017 - 26 p.

Droits d'usage :	Accès libre
Couverture géographique :	France
Niveau géographique :	National
Niveau de lecture :	Professionnels, experts
Nature de la ressource :	Rapport

1. INTRODUCTION.....	7
2. DEMARCHE GENERALE ET DONNEES UTILISEES.....	8
3. DISTRIBUTION DES DATES D'ECHANTILLONNAGE	10
4. DISTRIBUTION DES TAILLES DES INDIVIDUS EN FONCTION DU MOIS D'ECHANTILLONNAGE	11
5. EFFET DE LA DATE DE CAMPAGNE SUR LES METRIQUES CPUE ET BPUE... 12	
5.1. Méthode.....	12
5.2. Résultats.....	13
6. SENSIBILITE DE L'INDICE ICTHYOFAUNE LACUSTRE (IIL) A LA PERIODE D'ECHANTILLONNAGE	15
6.1. L'indicateur ichtyofaune lacustre (IIL).....	15
6.2. Sensibilité des trois métriques constituant de l'IIL à la date d'échantillonnage.....	16
6.2.1. Méthode	16
6.2.2. Résultats.....	16
6.3. Conséquences sur les EQRs, l'IIL et la classe d'état	18
6.3.1. Méthode	18
6.3.2. Résultats.....	19
7. CONCLUSION, RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES.....	20
8. GLOSSAIRE	21
9. SIGLES & ABREVIATIONS.....	22
10. BIBLIOGRAPHIE.....	23
11. TABLE DES ILLUSTRATIONS	24

RESUME

Des indicateurs de qualité écologique des plans d'eau répondant à l'eutrophisation ont récemment été développés : l'indicateur ichtyofaune lacustre (IIL) pour les lacs naturels et l'indicateur ichtyofaune pour les retenues (IIR). La technique d'échantillonnage utilisée pour la capture des poissons dans le cadre de la DCE repose sur la pose de filets maillants en position fixe durant une nuit ; il s'agit donc d'une méthode de pêche passive, et les captures dépendent de l'activité des poissons qui varie au cours du temps, en fonction de divers facteurs environnementaux et biologiques (température et cycle de reproduction des espèces par exemple). Dans ce contexte, nous étudions ici plus précisément l'incidence de la date d'échantillonnage sur les valeurs de l'IIL, pour des campagnes de pêche réalisées entre les mois de mai et d'octobre.

Nous montrons que la date d'échantillonnage influence les métriques biologiques, en particulier les métriques basées sur des effectifs de poissons (nombre de captures par unité d'effort de pêche, CPUE). La principale raison semble être la forte variabilité du nombre de juvéniles capturés au cours de la période étudiée, en lien avec le cycle de reproduction des espèces. Cette variabilité influence moins les métriques exprimées en biomasse. Nous montrons également que dans 36% des cas, une modification de la date d'échantillonnage modifie la valeur de l'IIL et entraîne un changement de la classe d'état. Dans 4% des cas, la note peut être modifiée de deux classes. Ces changements de classe entraînent parfois le franchissement de la limite bon-moyen, dans un sens ou dans l'autre.

Nous préconisons de standardiser au maximum les dates des campagnes de pêche notamment au sein d'un même lac pour faciliter les comparaisons entre dates, et de prendre en compte l'effet de la date comme facteur dans les modèles intervenant dans la définition des indicateurs, au même titre que les variables de l'environnement.

Mots clés (thématique et géographique) :

Date d'échantillonnage ; DCE ; France ; incertitude ; indicateur écologique ; lac ; poisson ; variabilité temporelle

ABSTRACTS

Ecological indicators of lake quality in relation to eutrophication were based on biological metrics calculated with standardized fish community data. Two indicators were defined in France, one for natural lakes (IIL) and one for reservoirs (IIR). Factors impacting sampling results can potentially induce uncertainties in index calculations. The sampling technique consists in handling nets at fixed locations during one night, with captures depending on fish activity. This activity changes over time, according to biotic and abiotic factors (e.g., temperature and reproduction cycle of species). We focused here on the effect of sampling date from May to October (temporal range of our data) on lake quality assessment resulting of the IIL calculation.

We found that sampling date impacts biological metrics, especially metrics based on fish counts (catch per unit effort, CPUE). The main reason seems to be the variability of juveniles captured along the sampling period in relation to the breeding cycle of the different fish species. This variability has less impact on biomass metrics. We also showed that a sampling date change can modify the quality class of one class in 36% of the cases, and two classes in 4% of the cases. In some cases these changes impact the evaluation of the lake with respect to the good-moderate threshold.

We recommend standardizing the fish sampling date across years, especially for a given lake, in order to be able to get comparable evaluations accross time, and to take into account the sampling date as a factor in statistical models used to define lake fish indicators.

Key words:

Ecological indicator; fish; France; lake; sampling date; temporal variability; uncertainty; WFD

- **INCERTITUDES LIEES A L'ECHANTILLONNAGE - EFFET DE LA DATE DE LA CAMPAGNE DE PECHE SUR L'EVALUATION DE L'ETAT ECOLOGIQUE DES PLANS D'EAU PAR L'ICHTYOFAUNE**

1. INTRODUCTION

Deux indicateurs ichtyofaune (basés sur les caractéristiques des communautés de poissons) ont été définis pour évaluer la qualité des plans d'eau. Ils permettent de rendre compte de l'impact de pressions anthropiques se traduisant par un enrichissement en nutriments (phosphore en particulier) et une eutrophisation accélérée des milieux. Le premier indicateur, l'indice ichtyofaune lacustre (IIL), a été défini pour les lacs naturels (Argillier et al. 2013, Logez et al. 2015). Le second, l'indice ichtyofaune pour les retenues (IIR), en cours de développement, est dédié à l'évaluation des plans d'eau d'origine anthropique dénommés "masses d'eau fortement modifiées" (MEFM) dans le cadre de la DCE (Lizée et al. 2017). Ils ne concernent pas les plans d'eau considérés comme des "masses d'eau artificielles" (MEA). Ces indicateurs sont définis et calculés à partir de données issues de pêches aux filets réalisées sur les plans d'eau des réseaux de suivi mis en place en application de la DCE, selon un protocole normalisé au niveau européen, NF EN 14757 (CEN 2005, 2015).

Le développement de ces indices est basé sur une procédure de modélisation et de sélection de métriques (caractéristiques biologiques des communautés, comme la richesse spécifique ou l'abondance des différentes guildes alimentaires) en fonction de leurs réponses à différentes variables de pressions. Ces indices sont dits multi-métriques, c'est-à-dire constitués de différents descripteurs du peuplement (métriques biologiques) calculés à partir des données de pêche. Des valeurs de références sont déterminées pour les métriques constitutives des indices, en fixant l'intensité des pressions à une valeur nulle ou très faible (procédure dite de hindcasting, Baker et al. 2005, Kilgour and Stanfield 2006, Launois et al. 2011). L'indice résulte de la comparaison des valeurs observées des métriques avec ces valeurs de références modélisées.

De nombreux facteurs peuvent affecter l'estimation de la note et rendre plus ou moins incertaine l'évaluation de l'état (pour les lacs naturels) ou du potentiel (pour les MEFM) écologique. Ces incertitudes peuvent intervenir soit sur la valeur observée de la métrique (Clarke et al. 2002, Clarke and Hering 2006), soit sur l'estimation de la valeur attendue de la métrique en absence de pressions, puis se propager tout au long de la chaîne de calcul jusqu'à la valeur de l'indice et l'estimation de la classe d'état (Marzin et al. 2014, Maire et al. 2015). Des travaux ont été menés pour évaluer l'incertitude associée aux valeurs de référence prédites : une méthodologie basée sur des simulations par tirages aléatoires a été développée et le script R associé est déjà disponible (Maire et al. 2015, Logez et al. 2019). Néanmoins, la question de l'incertitude associée aux observations sur le terrain (dans le cas présent, les résultats des pêches), n'a jamais été abordée. Même si ces données sont issues de prélèvements réalisés selon un protocole d'échantillonnage normalisé, et bénéficiant d'une norme européenne, NF EN 14757 (CEN 2005, 2015), la date d'échantillonnage choisie pourrait impacter l'évaluation de l'état du plan d'eau.

En effet la méthode d'échantillonnage repose sur la capture d'individus au cours d'une nuit par des filets maillants mesurant 30 m en longueur et 1.5 m en hauteur disposés aléatoirement dans chaque strate de profondeur du plan d'eau. Le nombre de ces filets varie en fonction de la surface et de la profondeur du plan d'eau à échantillonner. Les

filets intègrent des panneaux de différentes dimensions de maille pour échantillonner des individus de différentes classes de tailles. Seuls les individus présentant une certaine taille sont ainsi susceptibles d'être capturés dans un panneau de taille de mailles donnée. La structure de la communauté piscicole reflétée par les données de pêche est donc susceptible de varier au cours de l'année, en lien avec la phénologie des espèces. En France, la reproduction des espèces piscicoles a majoritairement lieu au printemps et génère une arrivée massive d'individus dans les systèmes. Bien que représentant une part importante des individus présents dans un plan d'eau, ces juvéniles ne pourront cependant être capturés dans les filets qu'une fois après avoir atteint une taille suffisante (qui plus est, variable selon les espèces). De plus, l'abondance de juvéniles dans un plan d'eau varie au cours du temps du fait d'une très grande mortalité (ex. prédation) et de l'activité des espèces qui dépend des conditions environnementales (ex. thermie).

Les indices IIL et IIR reposent sur des métriques calculées à partir des effectifs et des biomasses échantillonnées. La variabilité de ces paramètres au cours du temps constitue donc une source potentielle d'incertitude pour l'évaluation de l'état écologique des plans d'eau. L'objectif de cette étude est donc d'évaluer l'impact de la date d'échantillonnage sur : i) les valeurs observées des métriques composant l'indice ichtyofaune lacustre (IIL) : Captures Par Unité d'Effort (CPUE totale, CPUE des omnivores) et Biomasses Par Unité d'Effort (BPUE totale), ii) la note de l'IIL et iii) la classe d'état écologique des plans d'eau.

2. DEMARCHE GENERALE ET DONNEES UTILISEES

Les différentes analyses reposent sur les données des campagnes d'échantillonnage de l'ichtyofaune obtenues en application du protocole normalisé CEN NF EN 14757 (CEN 2005, 2015) et réalisées sur 56 lacs naturels et 188 MEFM (Figure 1), entre 2005 et 2016, dans le cadre des suivis DCE. Certaines analyses ont également requis des données environnementales collectées par ailleurs. Toutes les informations mobilisées sont issues de la base de données PLAN_DEAU nationale gérée par le pôle AFB/Irstea.

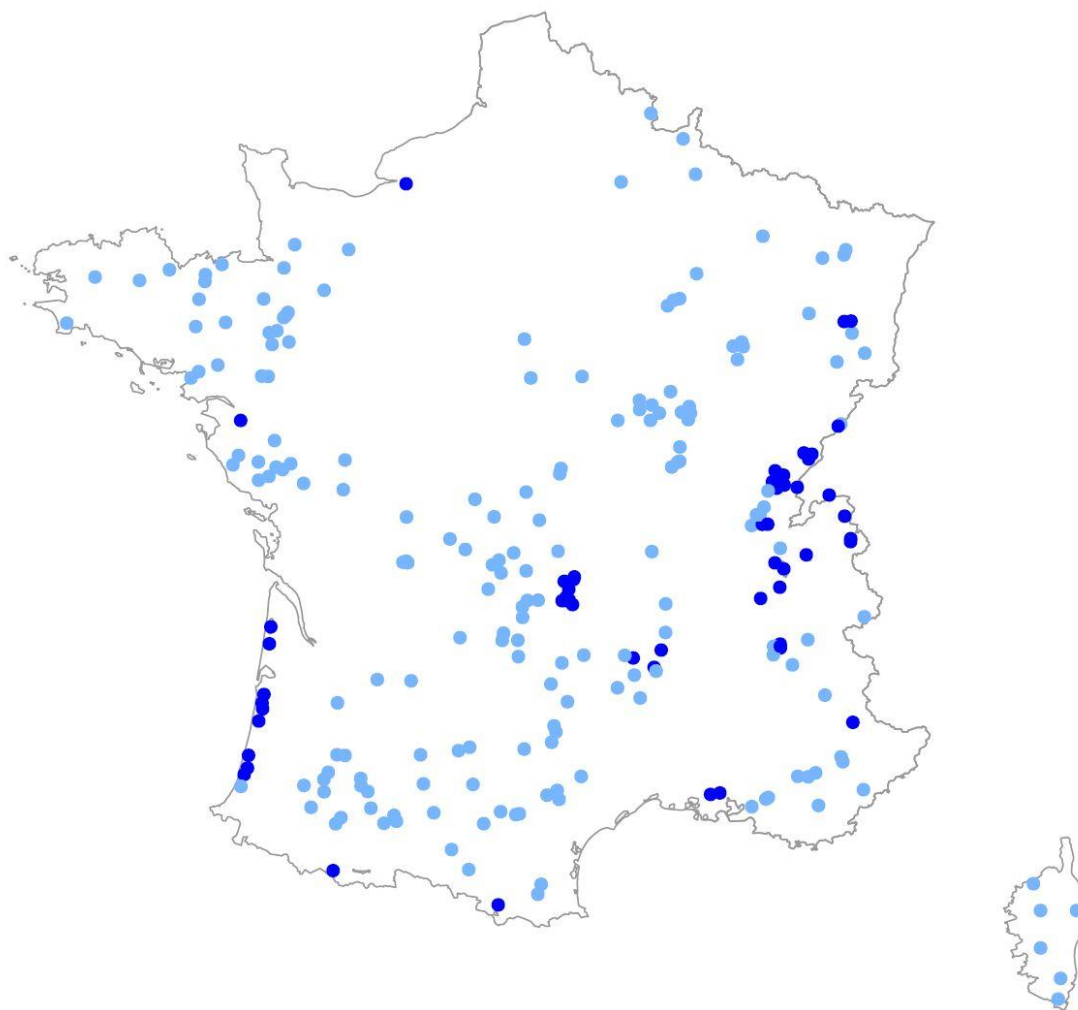


Figure 1 : Distribution des lacs naturels (bleu foncé) et MEFM (bleu clair) considérés dans l'étude

La démarche a consisté à réaliser d'abord une analyse des pratiques en terme de période d'échantillonnage de l'ichtyofaune (partie 3). Nous nous sommes ensuite attachés à identifier les conséquences de ces pratiques sur la structure en taille des échantillons collectés (partie 4). Des différences de structures en tailles pourraient expliquer des différences dans les effectifs et/ou les biomasses capturées, caractéristiques des communautés de poissons fréquemment considérées comme informatives de la qualité des plans d'eau (partie 5).

Dans un deuxième temps, nous nous sommes intéressés à l'impact de la date d'échantillonnage sur les trois métriques constitutives de l'indice poisson utilisé pour évaluer l'état écologique des lacs naturels français ainsi que sur cet indice résultant de l'agrégation des trois métriques (partie 6).

Le nombre de campagne d'échantillonnage considéré est donc variable selon les analyses. Les données utilisées dans les différentes analyses sont précisées dans le Tableau 1.

Tableau 1. Nombre de campagnes et de sites concernés par chaque partie de l'analyse, pour les lacs naturels et les MEFM

Analyse	Données lacs naturels	Données MEFM	Remarque
Distribution des dates d'échantillonnage (partie 3)	100 campagnes 56 sites	245 campagnes 188 sites	Toutes les données disponibles dans la base
Différence de dates d'échantillonnage au sein d'un même plan d'eau (partie 3)	60 campagnes 30 sites	106 campagnes 53 sites	Données des plans d'eau échantillonnés exactement deux fois
Distribution des tailles des individus en fonction du mois (partie 4)	99 campagnes 55 sites	245 campagnes 188 sites	Toutes les données, sauf la campagne isolée réalisée en mars
Effet de la date de campagne sur les métriques CPUE et BPUE (partie 5)	87 campagnes 47 sites	239 campagnes 182 sites	Toutes les données pour lesquelles on dispose des variables de l'environnement utilisées, sauf la campagne isolée réalisée en mars
Sensibilité de l'indice ichtyofaune lacustre (IIL) à la période d'échantillonnage (partie 6)	96 campagnes 52 sites		Données disponibles pour l'IIL

3. DISTRIBUTION DES DATES D'ÉCHANTILLONNAGE

La compilation des données nationales recueillies, a mis en évidence une variabilité assez importante des dates d'échantillonnage dans les lacs naturels et les masses d'eau fortement modifiées (MEFM), qui s'étalent du mois de mars au mois d'octobre, malgré les préconisations de la norme CEN en vigueur. Un grand nombre de campagnes est réalisé entre mi-août et début octobre, comme recommandé dans la norme, mais beaucoup de campagnes de pêche s'avèrent être réalisées dès la mi-mai, en particulier dans les retenues (Figure 2).

Parmi l'ensemble des sites échantillonnés (244 plans d'eau), certains ont fait l'objet de plusieurs échantillonnages ou campagnes de pêche, soit du fait de suivis scientifiques réguliers, soit parce que nous disposons de données s'étalant sur plusieurs plans de gestion et que l'arrêté d'évaluation prévoit au moins une campagne de pêche par plan de gestion DCE (un plan de gestion s'étale sur une période de 6 ans). Pour les plans d'eau échantillonnés à deux reprises (83 plans d'eau), on observe une variabilité de la date d'échantillonnage, mesurée par la différence en jours entre les dates consécutives de pêches (Figure 3).

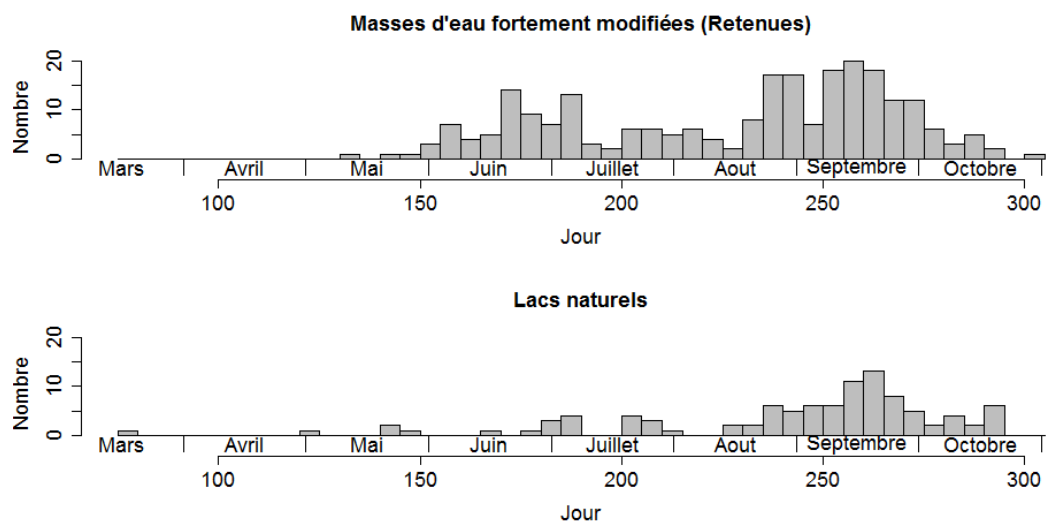


Figure 2 : Distribution des dates de campagne de pêche pour les masses d'eau fortement modifiées (188 retenues, 245 campagnes) et les lacs naturels (56 lacs, 100 campagnes).
Source : base PLAN_DEAU.

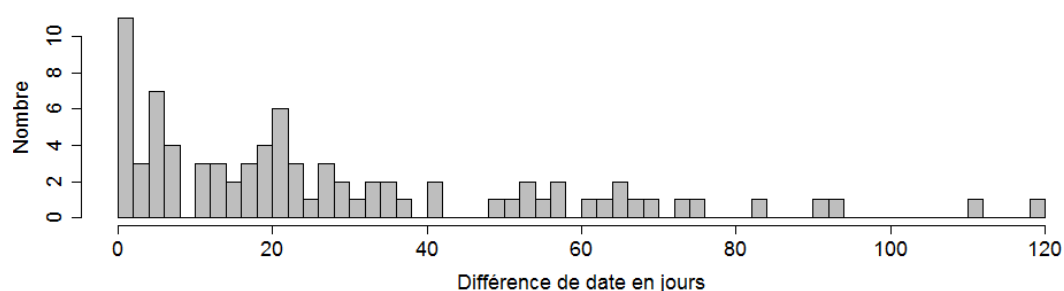


Figure 3 : Distribution de la différence de date d'échantillonnage pour les 83 plans d'eau échantillonnés exactement deux fois (lacs naturels et masses d'eau fortement modifiées).
Source : base PLAN_DEAU.

4. DISTRIBUTION DES TAILLES DES INDIVIDUS EN FONCTION DU MOIS D'ÉCHANTILLONNAGE

La variabilité de l'abondance des juvéniles capturés au cours de l'année est la première source supposée de variabilité temporelle des métriques biologiques. Ce phénomène a été étudié à partir des données de captures de 344 campagnes de pêche (en lacs naturels et MEFM, carte de la Figure 1) réalisées entre les mois de mai et d'octobre en distinguant les individus en fonction de leur taille, i.e. longueur (création de classes de taille). Pour chaque campagne de pêche, le nombre d'individus de chaque classe de taille a été normalisé par l'effort de pêche (CPUE par classe de taille). Ces CPUEs par classe de taille ont été moyennées pour les campagnes de pêche réalisées le même mois. Ceci permet d'obtenir une estimation de la distribution en taille de la communauté piscicole selon le mois d'échantillonnage (Figure 4).

La CPUE associée aux grands individus semble assez stable quel que soit le mois d'échantillonnage (individus de taille supérieure à environ 100 mm sur la Figure 4). Inversement, la plus grande variabilité entre les mois de la CPUE s'observe pour les petits individus, de taille inférieure à 100 mm, et surtout de taille comprise entre 50 et 90 mm

(les plus petits individus ne sont pas pêchés) ; ces petits individus sont des juvéniles des espèces de moyenne et grande taille et/ou des poissons adultes appartenant à des espèces de petite taille. En mai, la proportion et la quantité de petits individus est la plus faible. La CPUE des petits individus augmente ensuite jusqu'en juillet, vraisemblablement en raison du recrutement et de la croissance des juvéniles qui atteignent une taille capturable dans les filets. La quantité de petits individus diminue ensuite progressivement d'août à octobre, même si on ne revient toutefois pas encore au niveau du mois de mai. On observe ainsi une forte variabilité de la structure en taille au cours de l'année qui est essentiellement liée à la variabilité de l'abondance des juvéniles et/ou (probablement dans une moindre mesure) des poissons appartenant à des espèces de petite taille. On s'attend donc *a priori* à un impact sur les métriques calculées, en effectif comme en biomasse.

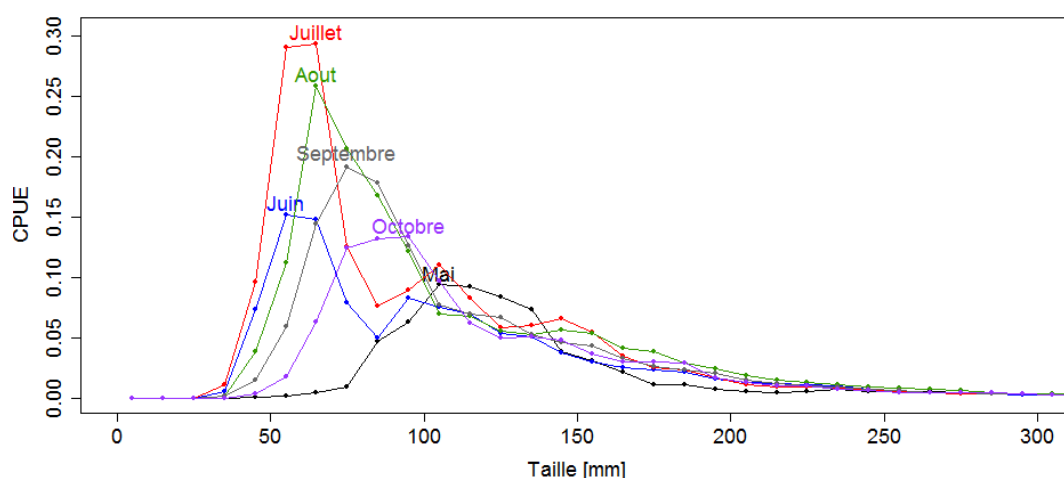


Figure 4 : Variabilité de la distribution de la taille des poissons pêchés en fonction du mois de pêche. En abscisse : taille des individus ; en ordonnée : CPUE moyenne par classe de taille de 10 mm (individus par m² de filet par 12h de pêche). La valeur représentée est la moyenne des campagnes pour chaque mois. Source : données des filets benthiques des lacs naturels et MEFM de la base PLAN_DEAU.

5. EFFET DE LA DATE DE CAMPAGNE SUR LES METRIQUES CPUE ET BPUE

Les effectifs et biomasses de poissons capturés par unité d'effort de pêche (CPUE et BPUE respectivement) sont deux métriques constitutives de l'IIL. Plus généralement, ce sont deux métriques fréquemment utilisées en bioindication, à l'échelle européenne. Nous avons donc étudié l'impact de la date d'échantillonnage sur les valeurs de ces deux métriques, dans les lacs naturels et les MEFM.

5.1. METHODE

La CPUE totale (CPUE), la CPUE des individus plus petits que 90 mm ($CPUE \leq 90$), la CPUE des individus strictement plus grands que 90 mm ($CPUE > 90$) et la BPUE totale (BPUE) ont été calculées à partir des données de 326 campagnes de pêche réalisées entre mai et octobre, pour lesquelles nous disposons également des variables environnementales suivantes : température moyenne de l'air sur les 10 années précédant la campagne (TMOY), amplitude de température de l'air entre janvier et juillet moyennée sur les 10 années précédant la campagne (TAMP), superficie du plan d'eau (SURF), altitude du plan

d'eau (*ALTI*), profondeur maximale du plan d'eau (*PMAX*), surface du bassin versant (*SBV*), concentration en phosphore total dans la zone euphotique (*PTotal*), proportion d'occupation du sol non naturelle sur le bassin versant (*OCSNonNat*). Il s'agit des variables intervenant dans la définition de l'IIL, connues pour influencer les communautés de poissons (Argillier et al. 2013). Nous avons ensuite construit des régressions linéaires multiples pour expliquer la variabilité de ces quatre métriques (transformation logarithmique) en fonction de ces variables de l'environnement et d'un polynôme (de degré 1 à 4) de la date d'échantillonnage exprimée en nombre de jours écoulé depuis le 1^{er} janvier de l'année de la campagne, utilisé pour modéliser un éventuel effet non linéaire de la date d'échantillonnage. La prise en compte des variables environnementales est nécessaire pour pouvoir évaluer efficacement l'effet de la date d'échantillonnage, car l'effet de l'environnement et de l'eutrophisation sur les CPUE et BPUE étant avéré, ne pas les prendre en compte risquerait de conduire à une estimation erronée de l'effet de la date d'échantillonnage.

Pour chacune des quatre métriques, le modèle le plus parcimonieux est sélectionné selon une procédure pas à pas (*stepwise*) basée sur le critère d'information d'Akaike¹ (i.e. *Akaike Information Criterion*, AIC). Le modèle de départ est celui comprenant toutes les variables environnementales et la date d'échantillonnage (degré 1 pour le modèle de départ). A chaque étape, on teste tous les modèles avec ajout ou suppression d'une des variables de l'étape précédente (on teste le modèle avec un degré en plus ou en moins au polynôme de la date, mais sans dépasser le degré 4). Pour l'effet polynômial de la variable "date d'échantillonnage", seuls les modèles incluant tous les termes polynomiaux jusqu'au degré n du polynôme sont autorisés. Ainsi pour un polynôme de degré 2, la date d'échantillonnage est forcément intégrée en plus de sa transformation au carré (date + date²). L'effet de la date d'échantillonnage (du polynôme) est quantifié en comparant le modèle final incluant la date d'échantillonnage au même modèle mais sans le polynôme final de la date d'échantillonnage (mêmes variables de l'environnement que le modèle final, mais en retirant le polynôme de la date), en utilisant la différence d'AIC entre les deux modèles, et les R^2 (coefficient de détermination, c'est-à-dire le pourcentage de variabilité de la métrique expliquée par le modèle) des modèles respectifs.

5.2. RESULTATS

Cette méthode permet de faire ressortir un effet quadratique de la date d'échantillonnage plus fort sur les effectifs capturés que sur les biomasses (Tableau 2, variation d'AIC de -21 versus -0.5). De plus, les effectifs des petits individus sont plus impactés que les effectifs des grands individus (Tableau 2, variation de l'AIC de -27.1 versus -3.1). Les coefficients des modèles finaux sont présentés dans le Tableau 3. Ces résultats soutiennent l'hypothèse selon laquelle l'effet de la date d'échantillonnage sur la CPUE serait en partie dû à la variabilité de l'abondance des juvéniles (que l'on approche ici par la quantité de petits individus sans distinguer les espèces), et donc en lien avec les cycles de reproduction et de croissance des espèces.

¹ Cette quantité pénalise les modèles en fonction du nombre de paramètres afin de satisfaire le critère de parcimonie : le meilleur modèle est celui avec le plus faible AIC

Tableau 2 : Comparaison des modèles pour chaque métrique biologique avec (modèle final) et sans (même variables de l'environnement que le modèle final) effet de la date d'échantillonnage.

	Métrique biologique			
	CPUE	CPUE $\leq$ 90mm	CPUE > 90mm	BPUE
Effet de la date	<i>Jour+Jour²</i>	<i>Jour+Jour²</i>	<i>Jour+Jour²</i>	<i>Jour+Jour²</i>
R ² (avec date)	0.403	0.238	0.424	0.495
R ² (sans date)	0.355	0.162	0.411	0.488
AIC (avec date)	712.4	1070.3	651	442.1
AIC (sans date)	733.5	1097.3	654.1	442.7
Δ AIC	-21	-27.1	-3.1	-0.5

Tableau 3 : Modèles finaux pour chaque métrique. Valeurs estimées des paramètres (et erreurs standards associées aux estimations) des modèles pour les quatre métriques biologiques, sélectionnés par une procédure pas à pas basée sur l'AIC. Un tiret (-) indique que le paramètre n'a pas été retenu par la procédure de sélection.

Paramètre	Métrique biologique			
	CPUE	CPUE $\leq$ 90mm	CPUE > 90mm	BPUE
Intercept	-8.09 (1.51)	-15.7 (2.59)	-5.31 (1.36)	1.56 (0.989)
TMOY	0.105 (0.0283)	0.0652 (0.0378)	0.101 (0.0255)	0.0611 (0.0185)
TAMP	-	0.112 (0.0442)	-	-
SURF	0.219 (0.0399)	0.28 (0.0663)	0.135 (0.0334)	0.0671 (0.0243)
ALTI	0.129 (0.055)	-	0.111 (0.0498)	0.0837 (0.0362)
PMAX	-0.42 (0.0691)	-0.42 (0.0981)	-0.42 (0.0578)	-0.395 (0.042)
SBV	-0.0658 (0.0285)	-0.134 (0.0484)	-	-
PTotal	0.119 (0.0686)	-	0.145 (0.0607)	0.119 (0.0441)
OCSNonNat	0.619 (0.128)	0.804 (0.207)	0.557 (0.117)	0.336 (0.0847)
Jour	0.0624 (0.0124)	0.118 (0.0216)	0.0293 (0.0113)	0.0158 (0.00818)
Jour ²	-0.00014 (2.8e-05)	-0.00026 (4.87e-05)	-6.5e-05 (2.54e-05)	-3.69e-05 (1.85e-05)

L'effet estimé de la date d'échantillonnage sur les CPUE (totale, des individus de taille inférieure ou égale à 90 mm, des individus de taille supérieure à 90 mm) et la BPUE entre les mois de mai et d'octobre est présentée en Figure 5 au moyen de prédictions issues des modèles finaux et en fixant les variables de l'environnement à leur valeur médiane. Le modèle prédit des valeurs maximales du nombre d'individus capturés autour du mois d'août (indépendamment des autres variables environnementales). L'augmentation de la CPUE entre mai et juillet peut s'expliquer par l'augmentation du nombre de juvéniles capturables ; la diminution à partir de septembre peut s'expliquer par la mortalité, notamment des jeunes de l'année. Cependant, la variabilité temporelle de l'activité des poissons donc de la capturabilité des individus au cours de l'année pourrait également expliquer une partie de la variabilité annuelle des CPUE. Compte tenu de la forte variabilité de la CPUE totale, une des trois métriques incluses dans l'indice IIL, on peut s'attendre à observer un impact de la date d'échantillonnage sur la valeur de l'indice et la classe d'état qui en résulte.

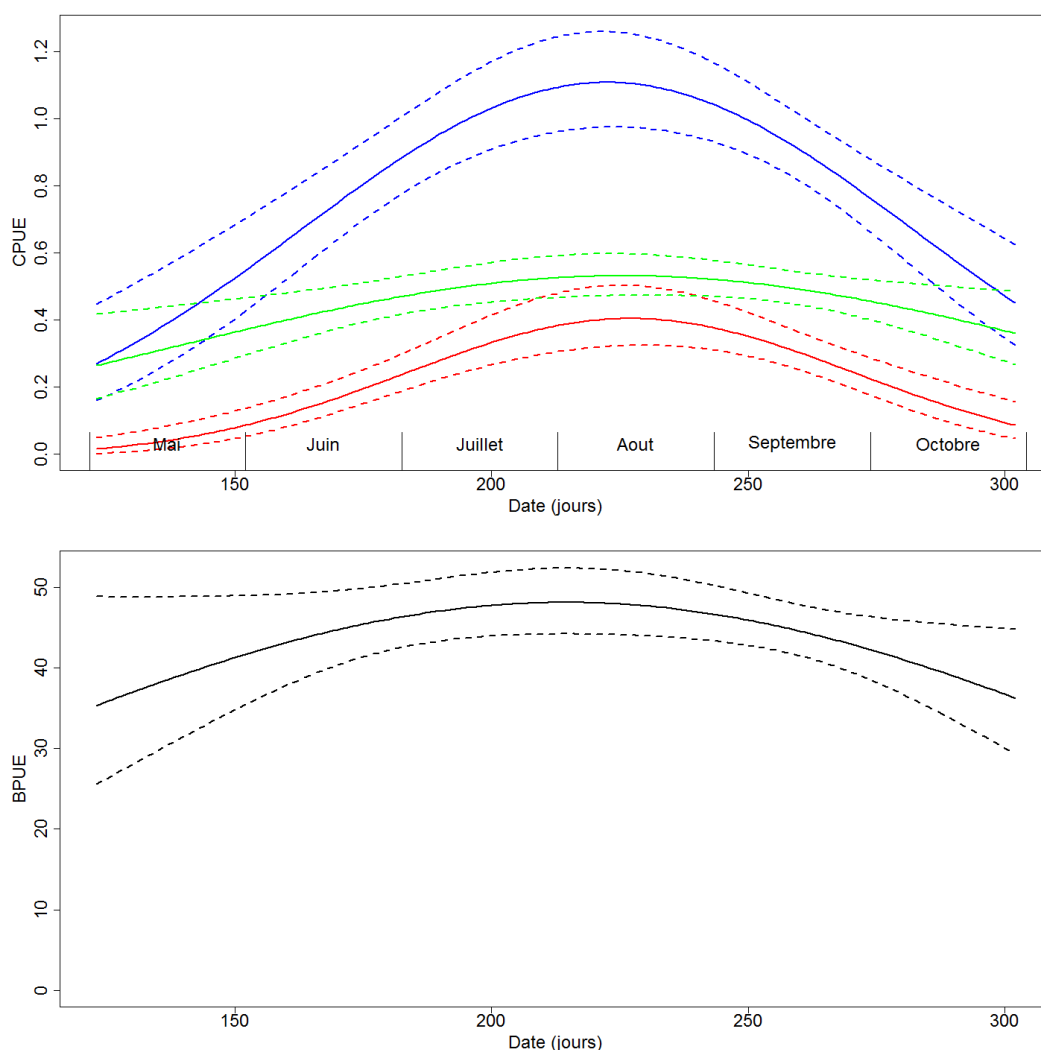


Figure 5 : Effet de la date d'échantillonnage sur les métriques de CPUE et BPUE prédites par les modèles. Valeurs prédites de CPUE totale (bleu, individus/m²/12h), de CPUE des individus de taille inférieure au égale à 90 mm (rouge, individus/m²/12h), de CPUE des individus de taille supérieure au égale à 90 mm (vert, individus/m²/12h) et de BPUE totale (noir, g/m²/12h), en fonction de la date d'échantillonnage (en jours depuis le 1er janvier de l'année), à partir des coefficients estimés dans le Tableau 2 (courbes continues). Les variables environnementales ont été fixées à leur valeur médiane calculée à partir des données. Les lignes discontinues représentent l'intervalle de confiance à 95% associé à l'estimation des coefficients. Les métriques, transformées par une fonction logarithme pour la modélisation, ont ici été retransformées vers l'échelle de variation initiale.

6. SENSIBILITE DE L'INDICE ICTHYOFAUNE LACUSTRE (IIL) A LA PERIODE D'ECHANTILLONNAGE

6.1. L'INDICATEUR ICTHYOFAUNE LACUSTRE (IIL)

L'IIL est calculé à partir de trois métriques : la CPUE totale (CPUE), la BPUE totale (BPUE) et la CPUE des individus omnivores (CPUE_OMNI). Pour chacune de ces métriques, des variables environnementales et de pressions ont été sélectionnées pour construire des modèles permettant de prédire des valeurs de référence à des niveaux de pression théoriques faibles (procédure dite de *hindcasting* ; variables du Tableau 4 ; voir Argillier et al. 2013 et Logez et al. 2015 pour des détails).

Tableau 4 : Liste des variables environnementales utilisées pour modéliser chaque métrique constitutive de l'IIL. Certaines variables sont considérées par un effet quadratique.

Métriques biologiques		
<i>CPUE</i>	<i>BPUE</i>	<i>CPUE_OMNI</i>
<i>PMAX</i> ²	<i>PMAX</i> ²	<i>PMAX</i> ²
<i>SLAC</i>	<i>SLAC</i>	<i>SLAC</i> ²
<i>SBV</i>	<i>SLAC</i> ²	<i>SBV</i> ²
<i>ALTI</i>	<i>SBV</i>	<i>ALTI</i>
<i>ALTI</i> ²	<i>TMOY</i>	<i>ALTI</i> ²
<i>TAMP</i>	<i>TMOY</i> ²	<i>TMOY</i>
<i>TAMP</i> ²	<i>TAMP</i>	<i>TAMP</i>
<i>OCSNonNat</i>	<i>TAMP</i> ²	<i>TAMP</i> ²
<i>PTotal</i>	<i>OCSNonNat</i>	<i>OCSNonNat</i>
	<i>PTotal</i>	<i>PTotal</i>

6.2. SENSIBILITE DES TROIS METRIQUES CONSTITUANTES DE L'IIL A LA DATE D'ECHANTILLONNAGE

6.2.1. Méthode

Cette analyse repose sur 96 campagnes d'échantillonnage réalisées sur 52 lacs naturels français entre 2005 et 2016 (carte Figure 1). Pour chacune des trois métriques de l'IIL, un modèle équivalent à celui utilisé dans l'IIL a été construit, c'est-à-dire en incluant les variables explicatives du Tableau 4, mais en ajoutant la date d'échantillonnage. L'effet de la date a été estimé en ajoutant aux modèles un des polynômes de degré 1 à 4. On a ainsi cinq modèles par métrique. La variation d'AIC entre chaque modèle et le modèle ayant le plus faible AIC a ensuite été calculée. On retient comme "modèle final" soit le modèle avec le plus faible AIC, soit, lorsque la plus petite variation d'AIC est inférieure à 2, le modèle le plus parcimonieux (avec le moins de variables) parmi ceux dont l'AIC diffère de moins de 2 du modèle de plus faible AIC (Tableau 5).

6.2.2. Résultats

Il ressort un effet quadratique de la date d'échantillonnage sur la *CPUE*, un effet linéaire négatif de la date d'échantillonnage sur la *BPUE* et une absence d'effet de la date d'échantillonnage sur la métrique *CPUE_OMNI* (Tableau 5 et Tableau 6). On met ainsi en évidence une dépendance au jour de la campagne de deux des trois métriques intervenant dans la définition de l'IIL. Les coefficients de l'effet de la date d'échantillonnage sur chacune des trois métriques pour les modèles retenus sont présentés dans le Tableau 6, et la représentation graphique sur la Figure 6.

Tableau 5 : Comparaison des modèles de chacune des trois métriques biologiques avec et sans effet de la date d'échantillonnage. AIC des modèles expliquant chacune des trois variables et incluant un effet de la date modélisé par un polynôme de degré 1 à 4 du jour ou pas d'effet de la date (différence par rapport au modèle de plus faible AIC). Polynôme de l'effet de la date du modèle final et variation d'AIC avec le modèle équivalent sans effet de la date. R^2 des modèles avec et sans effet de la date.

		Métrique biologique		
		CPUE	BPUE	CPUE_OMNI
Sans date	ΔAIC	25	13	0
Jour	ΔAIC	27	0	2
Jour+Jour ²	ΔAIC	1.9	1.8	0
Jour+Jour ² +Jour ³	ΔAIC	0	3.7	0
Jour+Jour ² +Jour ³ +Jour ⁴	ΔAIC	2	5.2	0.8
Forme de l'effet de la date du modèle final		1+Jour+Jour ²	1+Jour	Sans date
$\Delta AIC(\text{effet date du modèle final}) - \Delta AIC(\text{sans date})$		-23.1	-13	-
R^2 (sans date)		0.39	0.38	0.70
R^2 (avec effet date final)		0.53	0.46	-

Tableau 6 : Effet de la date d'échantillonnage du modèle final de chacune des trois métriques. Pour chaque métrique, coefficients associés au polynôme modélisant l'effet de la date (et erreur standard associée).

	Métrique biologique		
	CPUE	BPUE	CPUE_OMNI
Paramètre			
Jour	0.073 (0.014)	-0.0052 (0.0014)	-
Jour ²	-0.00017 (3.3e-5)	-	-

Les résultats obtenus sur la métrique CPUE en lacs naturels sont comparables à ceux obtenus sur l'ensemble du jeu de données (i.e. effet quadratique et coefficients de même signe). Compte tenu de la distribution des effectifs par classes de taille sur la période d'analyse (montrée au paragraphe 4), le maximum de la CPUE autour de juillet et août s'explique probablement aussi par un impact des jeunes poissons sur la valeur de la métrique. Inversement, le nombre d'individus ayant un régime alimentaire omnivore (CPUE_OMNI) ne semble pas affecté par la date d'échantillonnage. Il semblerait donc que la variabilité observée sur les CPUE totales soit liée à d'autres espèces que les omnivores. Après approfondissement, la perche, *Perca fluviatilis*, une des espèces majoritaires, qui ne fait pas partie des omnivores, semble plus fortement affectée par la date d'échantillonnage que le gardon, *Rutilus rutilus*, espèce omnivore également parmi les plus abondantes.

La diminution de la métrique BPUE entre le printemps et l'automne, qui n'avait pas été observée sur l'ensemble du jeu de données, semble plus difficile à expliquer.

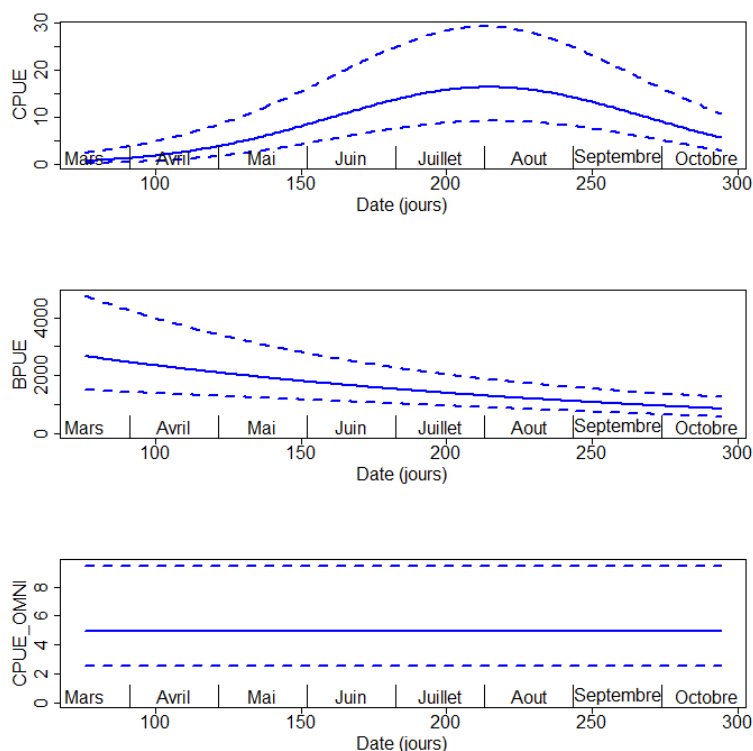


Figure 6 : Effet modélisé de la date d'échantillonnage pour chacune des trois métriques constitutives de l'IIL : CPUE (indiv./filet/12h), BPUE (g/filet/12h), CPUE_OMNI (indiv./filet/12h). Les lignes continues représentent l'effet moyen de la date. Les autres paramètres des modèles sont fixés à leur valeur médiane dans les données de calibration des modèles. Les lignes discontinues représentent les intervalles de confiance à 95% des estimations des métriques (liés à l'estimation des paramètres du modèle). Les métriques ont été transformées par des fonctions logarithmes dans les modèles, mais retransformées vers l'échelle de variation initiale pour la représentation graphique.

6.3. CONSEQUENCES SUR LES EQRS, L'IIL ET LA CLASSE D'ETAT

L'effet de la date d'échantillonnage ayant été montré sur deux des trois métriques constitutives de l'IIL, nous avons étudié l'impact de cette variable sur la valeur de l'indice puis sur la classe d'état. L'objectif est de calculer une enveloppe de valeurs possibles pour chaque campagne d'échantillonnage, en faisant varier la valeur de la date d'échantillonnage dans le modèle de calcul de l'indice.

6.3.1. Méthode

Pour un lac donné, les valeurs de métriques dépendent de la date d'échantillonnage. Si l'échantillonnage avait eu lieu plus tôt ou plus tard dans l'année, les valeurs de CPUE et de BPUE auraient été différentes. L'objectif est de quantifier l'impact de la date d'échantillonnage sur la valeur de chaque métrique, et par propagation sur la note de l'IIL. Pour chaque campagne de pêche on estime la valeur de la métrique à la date de l'échantillonnage. Cette valeur estimée sert de référentiel auquel on compare la valeur estimée de la métrique à une seconde date d'échantillonnage, comme si l'on avait échantillonné à un autre moment. L'écart entre ces valeurs est une estimation de la variation temporelle de la valeur de la métrique. En reportant cet écart à la valeur observée de la métrique (issu de l'échantillonnage réalisé) on estime la valeur de la métrique qui aurait été observée si l'échantillonnage avait eu lieu à une seconde date.

Cette opération est répétée pour chacune des métriques, ce qui permet de calculer la valeur que l'IIL aurait eu si l'échantillonnage avait eu lieu à un autre moment de l'année.

Pour chacune des 96 campagnes d'échantillonnage considérées ici, on répète la procédure pour les 96 dates d'échantillonnage observées dans les données utilisées (la date de la campagne d'échantillonnage en question et les 95 autres dates). Il y a donc 96 dates simulées pour 96 campagnes d'échantillonnage soit un total de 9216 simulations. Ces 96 valeurs simulées d'IIL par campagne de pêche permettent d'estimer une enveloppe autour de la valeur observée de l'IIL pour quantifier l'incertitude liée à la date d'échantillonnage. Cela permet aussi d'estimer la probabilité que l'état écologique d'un plan d'eau soit dans chacune des 5 classes d'état possibles (très bon, bon, moyen, médiocre ou mauvais) pour chaque campagne d'échantillonnage.

6.3.2. Résultats

La Figure 7 représente l'estimation de l'effet d'un changement de date sur les valeurs d'indice et sur les classes d'état, ce pour chacune des campagnes de pêche disponibles. On observe qu'un décalage de la date entraîne une modification de la valeur de l'indice (étendue des boîtes à moustaches, Figure 7) soit à la baisse, soit à la hausse, pouvant conduire à un changement de la classe d'état du plan d'eau (Tableau 7 et Tableau 8).

Dans environ 60% des cas, la classe ne change pas. Quand elle change, il s'agit généralement d'un changement d'une seule classe (36% des cas) ; on n'observe que rarement un écart de deux classes (4% des cas). Un changement de classe d'un état inférieur ou égal à moyen à un état supérieur ou égal à bon a lieu dans 7% des cas, un changement d'un état supérieur ou égal à bon vers un état inférieur ou égal à moyen dans 5% des cas (Tableau 8).

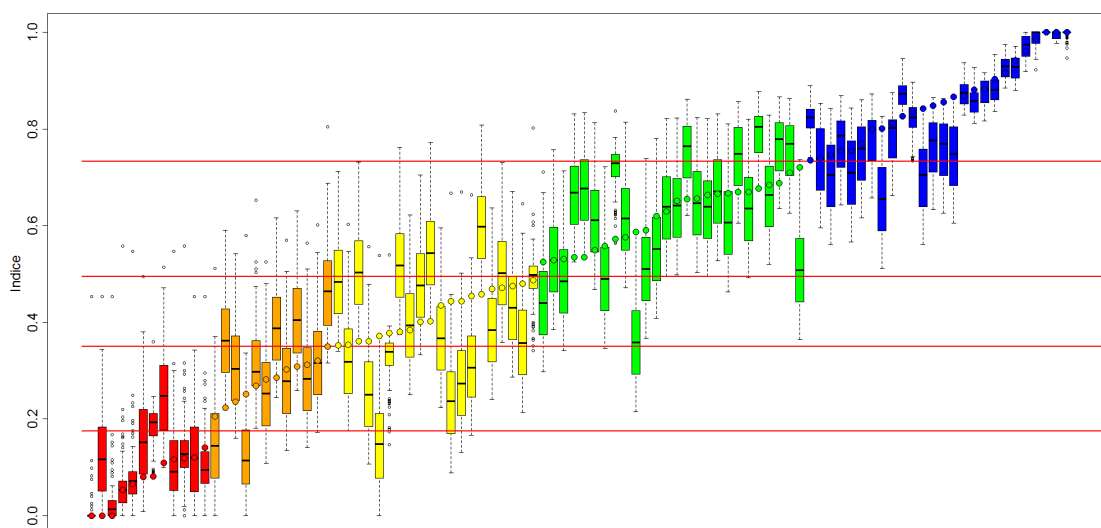


Figure 7 : distribution des valeurs d'indice (IIL) pour chaque campagne de pêche après simulation d'un changement de date. Chaque valeur d'indice est calculée à partir de valeurs de métriques simulées en faisant varier la valeur de la date dans l'ensemble des valeurs des 96 campagnes et en maintenant les variables de l'environnement constantes. Le point coloré indique la note initiale attribuée avec les données observées. Les campagnes sont ordonnées selon cette note (croissante de gauche à droite). La couleur représente la classe d'état associée à la valeur observée de l'indice (rouge = mauvais, orange = médiocre, jaune = moyen, vert = bon, bleu = très bon). L'étendue des boîtes à moustaches représente l'étendue des valeurs d'indice simulées en faisant varier la date dans l'ensemble des dates des 96 campagnes. Les lignes rouges horizontales représentent les limites des classes d'état.

Tableau 7 : Variation de classes d'état entre la valeur simulée (avec une date parmi l'ensemble des dates des 96 campagnes) et la valeur avec la date observée (pourcentage de chaque cas parmi les 9216 simulations).

Variation de classes d'état	Proportion parmi les simulations
-2	2.4%
-1	18.0%
=	59.5%
+1	18.3%
+2	1.7%
+3	0.1%

Tableau 8 : Proportion de chaque catégorie de décalage de classe d'état entre la valeur simulée (avec une date parmi l'ensemble des dates des 96 campagnes) et la classe d'état correspondant à la date observée (pourcentage de chaque cas parmi les 9216 simulations).

		Note issue des données observées				
		Mauvais	Médiocre	Moyen	Bon	Très bon
Note modélisée	Mauvais	9.3%	2.2%	1.5%	0%	0%
	Médiocre	2.8%	5.7%	6.3%	0.9%	0%
	Moyen	0.3%	3.4%	7%	3.9%	0%
	Bon	0.1%	1.2%	5.8%	16%	5.6%
	Très bon	0%	0%	0.2%	6.3%	21.5%

7. CONCLUSION, RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES

Ces résultats mettent en évidence que le choix de la date d'échantillonnage peut impacter significativement la valeur des métriques utilisées par les indices basés sur l'ichtyofaune pour les plans d'eau. Les conséquences sur l'évaluation de l'état écologique peuvent potentiellement aller jusqu'à un changement de classe d'état pour l'IIL (dans 40% des situations modélisées), indice dédié à l'évaluation de l'état des plans d'eau naturels.

Il apparaît important de respecter au mieux les périodes d'échantillonnage préconisées, c'est-à-dire de ne pas échantillonner trop tôt dans la saison pour ne pas surestimer l'importance des juvéniles dans le système, car leurs effectifs impactent directement le calcul de la métrique CPUE et donc l'évaluation finale.

Ceci est d'autant plus important que l'IIL a été développé pour mesurer l'effet de l'enrichissement en nutriments dans les plans d'eau. En effet, l'eutrophisation induit une productivité accrue des systèmes (jusqu'à un certain point) avec pour conséquence une valeur observée de CPUE supérieure à la valeur de référence modélisée (en l'absence de pression). Une date d'échantillonnage trop précoce pourrait conduire à un effet mimétique de l'eutrophisation par la "surestimation" des abondances de poissons, notamment des juvéniles. La classe d'état pourrait alors être sous-estimée par rapport à une pêche plus tardive.

D'autre part, pour un plan d'eau donné, il apparaît également important de conserver des dates d'échantillonnage qui soient proches d'une campagne à l'autre, comme recommandée dans le protocole CEN, NF EN 14757 (CEN 2005, 2015). En effet, si ce n'est pas le cas, une part de la variation de la note entre les deux années pourrait être due à une différence dans la date d'échantillonnage, plutôt qu'à une évolution du fonctionnement des systèmes et de leur niveau de dégradation.

8. GLOSSAIRE

Base PLAN_DEAU : Base de données gérée par le Pôle de Recherche & Développement AFB-Irstea "Hydroécologie des plans d'eau", rassemblant des données physico-chimiques et biologiques relatives aux plans d'eau de France métropolitaine.

9. SIGLES & ABREVIATIONS

AIC : Akaike information criterion (critère d'information d'Akaike)

ALTI : Altitude du plan d'eau

BPUE : Biomasse par unité d'effort (Biomass per unit effort), exprimé en g/m²/12h ou g/filet/12h

CPUE : Comptage par unité d'effort (Catch per unit effort), exprimé en individus/m²/12h ou individus/filet/12h

CPUE_{≤90mm} : CPUE des individus de taille inférieure ou égale à 90 mm

CPUE_{>90mm} : CPUE des individus de taille supérieure à 90 mm

CPUE_OMNI : CPUE des espèces omnivores

IIL : Indicateur ichtyofaune lacustre

IIR : Indicateur ichtyofaune pour les retenues

MEA : Masse d'eau artificielle

MEFM : Masse d'eau fortement modifiée

OCSNonNat : proportion d'occupation du sol non naturelle sur le bassin versant

PMAX : Profondeur maximale du plan d'eau

PTotal : Concentration en phosphore total dans la zone euphotique

SBV : Surface du bassin versant

SURF : Superficie du plan d'eau

TAMP : Amplitude de température de l'air entre janvier et juillet

TMOY : Température moyenne de l'air

VOL : Volume du plan d'eau

10. BIBLIOGRAPHIE

- Argillier, C., S. Caussé, M. Gevrey, S. Pédrón, J. De Bortoli, S. Brucet, M. Emmrich, E. Jeppesen, T. Lauridsen, T. Mehner, M. Olin, M. Rask, P. Volta, I. J. Winfield, F. Kelly, T. Krause, A. Palm, and K. Holmgren. 2013. Development of a fish-based index to assess the eutrophication status of European lakes. *Hydrobiologia* 704:193-211.
- Baker, E. A., K. E. Wehrly, P. W. Seelbach, L. Wang, M. J. Wiley, and T. Simon. 2005. A Multimetric Assessment of Stream Condition in the Northern Lakes and Forests Ecoregion Using Spatially Explicit Statistical Modeling and Regional Normalization. *Transactions of the American Fisheries Society* 134:697-710.
- CEN. 2005. Qualité de l'eau - Échantillonnage des poissons à l'aide de filets maillants (NF EN 14757).
- CEN. 2015. Qualité de l'eau - Échantillonnage des poissons à l'aide de filets maillants (NF EN 14757).
- Clarke, R. T., M. T. Furse, R. J. M. Gunn, J. M. Winder, and J. F. Wright. 2002. Sampling variation in macroinvertebrate data and implications for river quality indices. *Freshwater Biology* 47:1735-1751.
- Clarke, R. T., and D. Hering. 2006. Errors and uncertainty in bioassessment methods - major results and conclusions from the STAR project and their application using STARBUGS. Pages 433-439 in M. T. Furse, D. Hering, K. Brabec, A. Buffagni, L. Sandin, and P. F. M. Verdonshot, editors. *The Ecological Status of European Rivers: Evaluation and Intercalibration of Assessment Methods*. Springer Netherlands, Dordrecht.
- Kilgour, B. W., and L. W. Stanfield. 2006. Hindcasting reference conditions in streams. *American Fisheries Society Symposium* 48:623-640.
- Launois, L., J. Veslot, P. Irz, and C. Argillier. 2011. Development of a fish-based index (FBI) of biotic integrity for French lakes using the hindcasting approach. *Ecological Indicators* 11:1572-1583.
- Lizée, M.-H., M. Logez, and C. Argillier. 2017. Indice ichtyofaune pour l'évaluation de l'état écologique des plans d'eau d'origine anthropique, IIR.
- Logez, M., A. Maire, and C. Argillier. 2015. Principes et méthodes de calcul de l'indice ichtyofaune lacustre. Rapport final.
- Logez, M., A. Maire, and C. Argillier. 2019. Monte-Carlo methods to assess the uncertainty related to the use of predictive multimetric indices. *Ecological Indicators* 96:52-58.
- Maire, A., M. Logez, and C. Argillier. 2015. Calcul des incertitudes liées à l'utilisation de l'Indice Ichtyofaune Lacustre (IIL) - Rapport AQUAREF.
- Marzin, A., O. Delaigue, M. Logez, J. Belliard, and D. Pont. 2014. Uncertainty associated with river health assessment in a varying environment: The case of a predictive fish-based index in France. *Ecological Indicators* 43:195-204.

11. TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Distribution des lacs naturels (bleu foncé) et MEFM (bleu clair) considérés dans l'étude	9
Figure 2 : Distribution des dates de campagne de pêche pour les masses d'eau fortement modifiées (188 retenues, 245 campagnes) et les lacs naturels (56 lacs, 100 campagnes). Source : base PLAN_DEAU.	11
Figure 3 : Distribution de la différence de date d'échantillonnage pour les 83 plans d'eau échantillonnés exactement deux fois (lacs naturels et masses d'eau fortement modifiées). Source : base PLAN_DEAU.	11
Figure 4 : Variabilité de la distribution de la taille des poissons pêchés en fonction du mois de pêche. En abscisse : taille des individus ; en ordonnée : CPUE moyenne par classe de taille de 10 mm (individus par m ² de filet par 12h de pêche). La valeur représentée est la moyenne des campagnes pour chaque mois. Source : données des filets benthiques des lacs naturels et MEFM de la base PLAN_DEAU.	12
Figure 5 : Effet de la date d'échantillonnage sur les métriques de CPUE et BPUE prédites par les modèles. Valeurs prédites de CPUE totale (bleu, individus/m ² /12h), de CPUE des individus de taille inférieure au égale à 90 mm (rouge, individus/m ² /12h), de CPUE des individus de taille supérieure au égale à 90 mm (vert, individus/m ² /12h) et de BPUE totale (noir, g/m ² /12h), en fonction de la date d'échantillonnage (en jours depuis le 1er janvier de l'année), à partir des coefficients estimés dans le Tableau 2 (courbes continues). Les variables environnementales ont été fixées à leur valeur médiane calculée à partir des données. Les lignes discontinues représentent l'intervalle de confiance à 95% associé à l'estimation des coefficients. Les métriques, transformées par une fonction logarithme pour la modélisation, ont ici été retransformées vers l'échelle de variation initiale.	15
Figure 6 : Effet modélisé de la date d'échantillonnage pour chacune des trois métriques constitutives de l'IIL : CPUE (individus/filet/12h), BPUE (g/filet/12h), CPUE_OMNI (individus/filet/12h). Les lignes continues représentent l'effet moyen de la date. Les autres paramètres des modèles sont fixés à leur valeur médiane dans les données de calibration des modèles. Les lignes discontinues représentent les intervalles de confiance à 95% des estimations des métriques (liés à l'estimation des paramètres du modèle). Les métriques ont été transformées par des fonctions logarithmes dans les modèles, mais retransformées vers l'échelle de variation initiale pour la représentation graphique.	18
Figure 7 : distribution des valeurs d'indice (IIL) pour chaque campagne de pêche après simulation d'un changement de date. Chaque valeur d'indice est calculée à partir de valeurs de métriques simulées en faisant varier la valeur de la date dans l'ensemble des valeurs des 96 campagnes et en maintenant les variables de l'environnement constantes. Le point coloré indique la note initiale attribuée avec les données observées. Les campagnes sont ordonnées selon cette note (croissante de gauche à droite). La couleur représente la classe d'état associée à la valeur observée de l'indice (rouge = mauvais, orange = médiocre, jaune = moyen, vert = bon, bleu = très bon). L'étendue des boîtes à moustaches représente l'étendue des valeurs d'indice simulées en faisant varier la date dans l'ensemble des dates des 96 campagnes. Les lignes rouges horizontales représentent les limites des classes d'état.	19
Tableau 1. Nombre de campagnes et de sites concernés par chaque partie de l'analyse, pour les lacs naturels et les MEFM.....	10
Tableau 2 : Comparaison des modèles pour chaque métrique biologique avec (modèle final) et sans (même variables de l'environnement que le modèle final) effet de la date d'échantillonnage.....	14
Tableau 3 : Modèles finaux pour chaque métrique. Valeurs estimées des paramètres (et erreurs standards associées aux estimations) des modèles pour les quatre métriques biologiques, sélectionnés par une procédure pas à pas basée sur l'AIC. Un tiret (-) indique que le paramètre n'a pas été retenu par la procédure de sélection.	14
Tableau 4 : Liste des variables environnementales utilisées pour modéliser chaque métrique constitutive de l'IIL. Certaines variables sont considérées par un effet quadratique.	16
Tableau 5 : Comparaison des modèles de chacune des trois métriques biologiques avec et sans effet de la date d'échantillonnage. AIC des modèles expliquant chacune des trois variables et incluant un effet de la date modélisé par un polynôme de degré 1 à 4 du jour ou pas d'effet de la date (différence par rapport au modèle de plus faible AIC). Polynôme de l'effet de la date du modèle final et variation d'AIC avec le modèle équivalent sans effet de la date. R ² des modèles avec et sans effet de la date.	17
Tableau 6 : Effet de la date d'échantillonnage du modèle final de chacune des trois métriques. Pour chaque métrique, coefficients associés au polynôme modélisant l'effet de la date (et erreur standard associée).	17

Tableau 7 : Variation de classes d'état entre la valeur simulée (avec une date parmi l'ensemble des dates des 96 campagnes) et la valeur avec la date observée (pourcentage de chaque cas parmi les 9216 simulations).	20
Tableau 8 : Proportion de chaque catégorie de décalage de classe d'état entre la valeur simulée (avec une date parmi l'ensemble des dates des 96 campagnes) et la classe d'état correspondant à la date observée (pourcentage de chaque cas parmi les 9216 simulations).	20

Irstea
1, rue Pierre-Gilles de Gennes
CS 10030
92761 Antony Cedex
01 40 96 61 21
www.irstea.fr

Agence Française pour la Biodiversité
Hall C - Le Nadar
5, square Félix Nadar
94300 Vincennes
01 45 14 36 00
www.afbiodiversite.fr