

Guide de calcul et d'application de l'Indice Ichtyofaune Lacustre, IIL.

Maxime Logez, Christine Argillier

▶ **To cite this version:**

Maxime Logez, Christine Argillier. Guide de calcul et d'application de l'Indice Ichtyofaune Lacustre, IIL.. irstea. 2014, pp.20. hal-02601245

HAL Id: hal-02601245
https://hal.inrae.fr/hal-02601245

Submitted on 16 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Année de programmation 2014 – **Thème 22.1.– Action Etat écologique, biodiversité et fonctionnement des écosystèmes lacustres**



Guide de calcul et d'application de l'Indice Ichtyofaune Lacustre, IIL.

Rapport final

Maxime LOGEZ (Irstea) et Christine ARGILLIER (Irstea)

Novembre 2014

- ## AUTEURS

Maxime LOGEZ, Ingénieur de recherche (Irstea), maxime.logez@irstea.frl

Christine ARGILLIER, Directrice de l'UR HYAX (Irstea), christine.argillier@irstea.frl

- ## CORRESPONDANTS ONEMA

Yorick REYJOL, Chargé de mission (Onema), yorick.reyjol@onema.fr

Jean-Marc BAUDOIN, Directeur du pôle Onema/Irstea Hydroécologie plans d'eau, jean-marc.baudoin@irstea.Fr

Droits d'usage accès libre
Niveau géographique : européen
Couverture géographique : France
Niveau de lecture : experts

SOMMAIRE

Résumé/abstract 4
1. Introduction 5
2. Captures et biomasses par unité d'effort d'échantillonnage 6
3. Calcul des valeurs observées des trois métriques 7
4. Prédiction statistique des valeurs théoriques des métriques 8
5. Calcul des écarts entre les valeurs observées et prédites 10
6. Transformation en ratio de qualité écologique (EQR) 11
7. Calcul de la note de l'indice 12
8. Établissement de la classe d'état écologique 12
9. Remerciements 12
10. Sigles & Abréviations 13
11. Bibliographie 13
12. Annexes 14
Annexe 1 : Caractérisation de l'omnivorie des espèces telle qu'utilisée dans le calcul des métriques 14
Annexe 2 : Script et fonctions R développés pour le calcul de l'IIL 18

- **GUIDE DE CALCUL ET D'APPLICATION DE L'INDICE ICHTYOFAUNE LACUSTRE - IIL**

Résumé/abstract

Un indice multimétrique poisson dédié à l'évaluation de l'état écologique des lacs naturels français notamment dans le cadre de l'application de la Directive Cadre européenne sur l'Eau, a été développé par modélisation au sein du pôle Onema/Irstea Hydroécologie plans d'eau. Ce rapport décrit tous les éléments nécessaires et la procédure permettant le calcul de cet indice et son utilisation pour définir l'état écologique des lacs.

A multimetric fish index was developed by a modelling approach, to assess the ecological status of the French natural lakes in application of the Water Framework Directive. This report describes all the information required to allow the calculation of this index and its use to define the ecological status of the lakes.

- **MOTS CLES : ICHTYOFAUNE, INDICE, LAC, DCE, FRANCE**

- **KEYWORDS : INDEX, FISH FAUNA, LAKE, WFD, FRANCE**

- **GUIDE DE CALCUL ET D'APPLICATION DE L'INDICE ICHTYOFAUNE LACUSTRE - IIL**

1. Introduction

Un indice dédié à l'évaluation de l'état écologique des lacs naturels (IIL) a été développé dans le cadre de travaux menés au sein du pôle Onema/Irstea conjointement avec des partenaires du projet européen WISER (Water bodies in Europe: Integrative Systems to assess Ecological Status and Recovery, Contract No.: 226273). Cet indice a été construit par l'analyse de données standardisées collectées sur 445 lacs naturels européens ; il permet de rendre compte du niveau d'altération de la trophie des lacs (Argillier, Caussé et al. 2013).

La pertinence de la classification des lacs qui résulte de son utilisation a ensuite été validée par un groupe d'experts nationaux.

L'objectif de ce guide est de permettre à tout utilisateur de calculer l'IIL et de préciser les valeurs des différents paramètres utilisés. Chaque étape du calcul de cet indice sera détaillée, les unités clairement explicitées, des exemples concrets seront fournis ainsi que l'ensemble des codes et fonctions R développés et utilisés pour le calcul de cet indice.

L'indice ichtyofaune lacustre s'appuie sur trois caractéristiques des peuplements piscicoles, aussi appelées métriques, pour établir l'état écologique des lacs naturels. Le niveau d'altération d'un plan d'eau est évalué en comparant les valeurs observées des métriques à des valeurs théoriques observables en l'absence d'eutrophisation. Ces valeurs théoriques sont prédites pour chaque plan d'eau en fonction de leurs caractéristiques environnementales. À ce titre, l'indice ichtyofaune lacustre est un indice multimétrique prédictif.

Plusieurs étapes successives sont nécessaires à son calcul :

1. Calcul des captures par unités d'effort de pêche (CPUE) et biomasses par unités d'effort de pêche (BPUE) pour chaque espèce
2. Calcul des valeurs observées des trois métriques
3. Prédiction statistique des valeurs théoriques des métriques
4. Calcul des écarts entre les valeurs observées et prédites
5. Transformation en ratio de qualité écologique (EQR)
6. Agrégation des métriques
7. Calcul de la note de l'indice
8. Établissement de la classe d'état écologique.

Chacune d'entre elle fait l'objet d'un paragraphe suivant.

2. Captures et biomasses par unité d'effort d'échantillonnage

Afin que les données de pêche soient comparables dans le temps pour un même site ou entre des sites différents, elles sont standardisées par unité d'effort d'échantillonnage. Les effectifs sont ainsi exprimés en capture par unité d'effort, CPUE et les biomasses en biomasse par unité d'effort, BPUE. L'unité d'effort retenue est le filet en pêche pendant une nuit de 12h. Nous avons considéré qu'un filet avait une surface de 45 m² car le protocole de pêche standardisé CEN 2005 (European committee for standardization 2005) ne prévoit que des filets benthiques de cette surface.

Seules les données des filets benthiques ont servies à l'élaboration de l'indice.

Les formules suivantes de standardisation des données de pêche au filet devraient être adaptées si d'autres tailles de filets venaient à être considérées.

Les CPUE par espèce ou groupe d'espèces (par exemple les CPUE d'individus omnivores ou les CPUE de toutes les espèces) sont obtenues en divisant la somme des individus capturés dans l'ensemble des filets, par le temps de pose total de la pêche :

$$CPUE = \frac{\sum_{i=1}^{N} N_i * 12}{N * T}$$

Avec Ni le nombre d'individus de l'espèce ou du groupe d'espèce capturé dans le ième filet, N le nombre total de filets utilisés durant la pêche (incluant les filets sans captures) et T le temps de pose moyen. Si le temps de pose des filets n'est pas connu il est considéré égal à 12h.

Le temps de pose total des filets obtenu par N*T peut être remplacé par la somme des temps de pose de chaque filet, Ti :

$$CPUE = \frac{\sum_{i=1}^{N} N_i * 12}{\sum_{i=1}^{N} T_i}$$

De même, la biomasse par unité d'effort de pêche pour une espèce ou un groupe d'espèce, est obtenue en sommant la masse des individus capturés dans chaque filet et standardisée à la masse obtenue en une nuit de 12h dans un filet de 45m² :

$$BPUE = \frac{\sum_{i=1}^{N} W_i * 12}{N * T}$$

Avec Wi la masse des individus de l'espèce ou du groupe d'espèces mesurée dans le ième filet, N le nombre total de filets et T le temps de pose moyen. Comme pour la CPUE, le dénominateur peut être remplacé par la somme des temps de pose de l'ensemble des filets utilisés au cours de la pêche. De même un temps de 12h sera considéré en absence d'information sur la durée d'échantillonnage.

► Exemple

Si pour un plan d'eau, pour une occasion de pêche et pour une espèce on obtenait les résultats suivants,

	Effectifs	Poids	Temps de pose
Filet 1	15	1000g	12h
Filet 2	10	650g	11h30
Filet 3	0	0	10h30

la CPUE de cette espèce serait de 8,82 individus par nuit et par filet, valeur obtenue par le calcul suivant:

$$\frac{(15 + 10 + 0)}{12 + 11{,}5 + 10{,}5} * 12$$

La BPUE de cette espèce pour cette pêche serait de 582,35 g/nuit/filet.

Les CPUE et BPUE sont souvent exprimées pour des surfaces plus grandes comme l'100 ou 1000m^2 de filet. Dans tous les cas, il est nécessaire que les unités d'effort de pêche soient ramenées à 45m² pour le bon calcul de l'indice.

3. Calcul des valeurs observées des trois métriques

Trois métriques sont intègrées dans le calcul de l'indice, la CPUE totale, la BPUE totale et la CPUE des individus omnivores (CPUE_OMNI). Pour les métriques CPUE et BPUE, l'ensemble des individus capturés au cours de l'échantillonnage est pris en compte dans le calcul. Ceci inclut donc les hybrides et les individus non identifiés. Pour un lac et une occasion de pêche, la CPUE totale est la somme des CPUEs de l'ensemble des taxons. Il en est de même pour la BPUE mais avec les BPUEs de l'ensemble des taxons.

La CPUE_OMNI est obtenue en sommant les CPUEs des espèces omnivores à l'âge adulte, capturées dans une pêche donnée. Le régime trophique de l'ensemble des espèces piscicoles recensées dans les lacs français a été défini par les experts européens afin de caractériser ou non l'omnivorie de chaque espèce (voir tableau en Annexe 1).

Les valeurs de CPUE et BPUE observées (notées $CPUE_{obs}$ et $BPUE_{obs}$) sont ensuite transformées via la fonction « log népérien » (ln, par la suite appelée log).

Les valeurs de CPUE_OMNI sont aussi transformées en log après leur avoir ajouté 0,0625 de sorte que : $CPUE_OMNI_{obs}$= $lnCPUE_OMNI_{obs}$+0,0625. L'ajout de cette constante est nécessaire pour prendre en compte les cas où la CPUE_OMNI serait nulle.

► Exemple

Ci-dessous, sur les 11 taxons recensés dans la pêche six sont considérés comme omnivores (1 dans la colonne Omnivorie) et 5 comme non omnviores. La CPUE totale pour cette pêche est de 5202,8 g/nuit/filet alors que la CPUE_OMNI est de 2070,8 g/nuit/filet. Il est à noter que le taxa Cyprinidae a été pris en compte dans le calcul de la CPUE totale.

Espèce	CPUE	Omnivorie
Abramis brama	98,61	0
Blicca bjoerkna	455,56	1
Carassius carassius	1,39	1
Cyprinidae	1,39	0
Esox lucius	6,94	0
Gymnocephalus cernua	729,17	1
Leucaspius delineatus	1,39	1
Perca fluviatilis	2701,39	0
Rutilus rutilus	861,11	1
Sander lucioperca	323,61	0
Scardinius erythrophthalmus	22,22	1

Dans le tableau ci-dessous, sont notées les valeurs des trois métriques de l'indice pour deux plans d'eau avant et après transformation:

	CPUE	BPUE	CPUE_OMNI
Plan d'eau 1 avant	101,73790	2483,04050	81,07239
Plan d'eau 1 après	4,62240	7,81724	4,39611
Plan d'eau 2 avant	25,19911	986,86120	7,68736
Plan d'eau 2 après	3,22681	6,89453	2,04768

4. Prédiction statistique des valeurs théoriques des métriques

Les valeurs théoriques des métriques observables en absence de pressions sont établies à partir des conditions environnementales des plans d'eau. Six variables sont nécessaires : la profondeur maximale (mètre ; PMAX), la surface du lac (km² ; SLAC), la surface du bassin versant (km² ; SBV), l'altitude (m ; ALTI), la température moyenne de l'air (°C ; TMOY) et l'amplitude thermique entre juillet et janvier (°C ;TAMP) (Argillier, Caussé et al. 2013).

Les variables climatiques utilisées lors du projet européen WISER et qui ont servi à développer l'IIL sont issues du Climatic Research Unit (CRU ; http://www.cru.uea.ac.uk/) (New, Lister et al. 2002). Il s'agit de moyennes sur la période 1961-1990. Toutes les autres variables sont issues de la base de données BD_PLAN_EAU gérée par le pôle Onema/Irstea à Aix-en-Provence.

Les variables PMAX, SLAC et SBV sont préalablement log-transformées et le carré de chacune des variables défini une nouvelle variable. Les carrés des variables sont notés par un « ² » à la suite du nom de la variable, par exemple TAMP².

Les valeurs théoriques des métriques, sont obtenues en multipliant les valeurs des variables environnementales par les coefficients qui leur sont associées (Tableau 1) et en faisant la somme des valeurs ainsi obtenues. Ces valeurs sont directement exprimées en log et comparables aux valeurs observées transformées.

Tableau 1 : Coefficients associés à chaque variable environnementale et leurs carrés pour prédire les valeurs théoriques des métriques en absence de pressions.

	CPUE	BPUE	CPUE_OMNI
Intercept	0,6248374	7,2367560	-7,5351660
PMAX	0,340664718		
$PMAX^2$	-0,156443941	-0,072599817	-0,127106560
SLAC	0,191853176	0,139946806	0,000000000
$SLAC^2$		0,018624962	0,051806336
SBV	-0,076985102	-0,074119665	
SBV^2			0,013221878
ALTI	-0,002265625		-0,004987019
$ALTI^2$	0,000001329		0,000004060
TMOY		-0,114912088	0,137376155
$TMOY^2$		0,007517705	
TAMP	0,276305295	0,097928902	0,806385286
$TAMP^2$	-0,005473083	-0,003231246	-0,015223351

La valeur théorique de CPUE se calcule avec la formule :

$$\mathrm{CPUE_{th}} = 0{,}6248374 + 0{,}34066.PMAX - 0.15644.PMAX^2 + 0.19185.SLAC - 0{,}07699.SBV - 0{,}00227.ALTI + 0{,}00000133.ALTI^2 + 0{,}27631.TAMP - 0{,}00547.TAMP^2$$

Par souci de clarté, les valeurs de coefficients de la formule ci-dessus ont été arrondies. Il convient d'utiliser les valeurs du Tableau 1.

Les valeurs théoriques sont définies pour une occupation non naturelle du sol sur le bassin versant de 10% et un taux de phosphore de 5 µg.L-1.

► Exemple 1

Préparation des données environnementales

Le tableau de caractéristiques environnementales suivant Paramètre	Valeur
PMAX	15
SLAC	0,55
SBV	26,51
ALTI	837
TMOY	6,63
TAMP	14,7

sera transformé en

Paramètre	Valeur
PMAX	2,708050
PMAX²	7,333546
SLAC	-0,589194
SLAC²	0,347149
SBV	3,277678
SBV²	10,743170
ALTI	837
ALTI²	700569
TMOY	6,633333
TMOY²	44,001111
TAMP	14,7
TAMP²	216,09

Calcul de la $CPUE_{th}$

Dans le cas du lac présentant les caractéristiques du tableau précédent, la valeur de $CPUE_{th}$ est calulée avec la formule :

$$\mathrm{CPUE_{th}} = 0{,}6248374 + 0{,}34066 * 2{,}70805 - 0{,}15644 * (2{,}70805)^2 + 0{,}19185 * (-0{,}58919351) - 0{,}07699 * (3{,}27767755) - 0{,}00227 * (837) + 0{,}00000133 * (837)^2 + 0{,}27631 * 14{,}7 - 0{,}00547 * (14{,}7)^2$$

Ainsi, la $\mathrm{CPUE_{th}} = 1{,}948385$

► Exemple 2

Caractéristiques environnementales pour deux plans d'eau :

	Plan d'eau 1	Plan d'eau 2
PMAX	0,69315	3,33221
PMAX²	0,48045	11,10359
SLAC	-2,23425	-0,84098
SLAC²	4,99187	0,70724
SBV	-0,98942	0,29459
SBV²	0,97895	0,08679
ALTI	1193	1200
ALTI²	1423249	1440000
TMOY	6,10833	7,20833
TMOY²	37,31174	51,96007
TAMP	14,6	15,7
TAMP²	213,16000	246,49000

Valeurs théoriques des métriques :

	CPUE	BPUE	CPUE_OMNI
Plan d'eau 1	2,48921	7,37508	1,87090
Plan d'eau 2	2,02269	6,60759	0,85070

5. Calcul des écarts entre les valeurs observées et prédites

Le niveau d'altération des plans d'eau est mesuré par l'écart entre les valeurs observés et théoriques de chacune des métriques :

$$Métrique_{Res} = Métrique_{obs} - Métrique_{th}$$

Avec $Métrique_{res}$ l'écart aussi appelé résidu en statistique. C'est ce résidu qui sera par la suite transformé en EQR.

► Exemple

Les valeurs observées, théoriques et résiduelles des métriques obtenues dans deux lacs

	Plan d'eau 1	Plan d'eau 2
$CPUE_{obs}$	4,62240	3,22681
$CPUE_{th}$	2,48921	2,02269
$CPUE_{res}$	**2.13319**	**1.20412**
$BPUE_{obs}$	7,81724	6,89453
$BPUE_{th}$	7,37508	6,60759
$BPUE_{res}$	**0.44216**	**0.28694**
$CPUE_OMNI_{obs}$	4,39611	2,04768
$CPUE_OMNI_{th}$	1,87090	0,85070
$CPUE_OMNI_{res}$	**2.52521**	**1.19697**

6. Transformation en ratio de qualité écologique (EQR)

Cette étape transforme les résidus qui peuvent théoriquement varier entre]-∞,+∞[en une variable définie sur l'intervalle [0,1] appelée Ecological Quality Ratio (EQR). Un EQR de 0 correspond théoriquement à une forte dégradation du milieu alors qu'une valeur de 1 est théoriquement observée pour un plan d'eau en très bon état.
La transformation utilisée est celle préconisée par (Hering, Feld et al. 2006) lorsque la pression agit favorablement sur la métrique. Autrement dit, les valeurs observées des métriques ont tendance à être plus fortes quand les conditions sont dégradées (eutrophes).

$$EQR = 1 - \frac{(Métrique_{res}) - anch_{min}}{anch_{max} - anch_{min}}$$

Avec $Métrique_{res}$ l'écart entre la valeur observée et théorique de la métrique, $anch_{min}$ la valeur minimale des ancres et $anch_{max}$ la valeur maximale des ancres.
Chaque métrique dispose de ses propres ancres contenues dans le Tableau 2. Avec cette transformation, il est possible d'obtenir des valeurs d'EQR inférieures à 0 ou supérieures à 1.
Les valeurs d'EQR en dehors de l'intervalle [0,1] sont remplacées par la limite la plus proche. Un EQR de 1,25 sera ainsi ramené à 1.

Tableau 2 : Valeurs des ancres min et max pour chaque métrique.

	Ancre min	Ancre max
CPUE	-0.6257795	1.938109
BPUE	-0.5600162	1.618783
CPUE_OMNI	-1.8128103	2.712507

Ainsi, pour la CPUE l'EQR sera calculé avec la formule :

$$EQR_{CPUE} = 1 - \frac{(CPUE_{res}) - (-0.6257795)}{1.938109 - (-0.6257795)}$$

► Exemple

Valeur des résidus et des EQR des trois métriques calculées sur deux plans d'eau:

	CPUE	BPUE	CPUE_OMNI
Plan d'eau 1			
Résidus	2,13319	0,44216	2,52521
EQR	0	0.54003	0.04139
Plan d'eau 2			
Résidus	1,20412	0,28694	1,19697
EQR	0.28628	0,61128	0,33490

Remarque : pour le plan d'eau 1, l'EQR pour la CPUE est de -0.07609 et est ramené à 0.

7. Calcul de la note de l'indice

La note de l'indice est obtenue en sommant les valeurs d'EQR des trois métriques. Cette somme des EQRs est ensuite transformée en note finale de l'indice pour que les valeurs d'indices soient comprises entre 0 et 1. La transformation est effectuée de la manière suivante :

$$Indice = \frac{\sum EQR - 0{,}2317304}{(2{,}643239 - 0{,}2317304)}$$

Avec $\sum EQR$, la somme des EQRs des trois métriques.

Comme pour le calcul des EQRs des métriques, la note finale de l'indice peut-être en dehors de l'intervalle [0,1]. De telles valeurs sont ramenées aux limites les plus proches.

► Exemple

Somme des EQRs et valeurs de l'indice :

	EQR	Indice
Plan d'eau 1	0,58142	0,14501
Plan d'eau 2	1,23246	0,41498

8. Établissement de la classe d'état écologique

L'état écologique des plans d'eau est établi en comparant la note de l'indice aux valeurs limites des classes d'états (Tableau 3).

Tableau 3 : Limites des cinq classes d'état écologique.

Etat écologique	Valeurs limites
Très Bon	]0,582207 ; 1]
Bon	]0,436655 ; 0,582207]
Moyen	]0,291103 ; 0,436655]
Médiocre	]0,145552 ; 0,291103]
Mauvais	]0 ; 0,145552]

► Exemple

	Indice	Etat écologique
Plan d'eau 1	0,14501	Mauvais
Plan d'eau 2	0,41498	Moyen

9. Remerciements

Le développement de l'indice a été financièrement soutenu par l'Union Européenne FP-7 Thème 6, projet WISER (Water bodies in Europe: Integrative Systems to assess Ecological Status and Recovery, Contrat No.: 226273). Nous tenons également à remercier tous les membres des groupes d'intercalibration et les membres de l'Onema qui ont mis leurs données à disposition pour le développement de cet indice.
Nous remercions les Délégations Inter-Régionales de l'Onema et les Agences de l'Eau pour leur expertise dans la phase de validation de cet indice.

10. Sigles & Abréviations

CPUE : capture par unité d'effort d'échantillonnage soit nombre d'individus capturés par filet et par nuit de 12h

BPUE : biomasse par unité d'effort d'échantillonnage soit la biomasse (en g) de poissons capturée par filet et par nuit de 12h

CPUE_OMNI : capture d'individus omnivores par unité d'effort soit nombre d'individus omnivores capturés par filet et par nuit de 12h

EQR : Ecological Quality Ratio ou ratio de qualité écologique

11. Bibliographie

Argillier, C., S. Caussé, M. Gevrey, S. Pédron, J. De Bortoli, S. Brucet, M. Emmrich, E. Jeppesen, T. Lauridsen, T. Mehner, M. Olin, M. Rask, P. Volata, I. J. Winfield, F. L. 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(1): 193-211.

European committee for standardization (2005). Water Quality - Sampling of fish with multi-mesh gillnets: 26.

Hering, D., C. K. Feld, O. Moog and T. Ofenbock (2006). "Cook book for the development of a Multimetric Index for biological condition of aquatic ecosystems: Experiences from the European AQEM and STAR projects and related initiatives." Hydrobiologia 566: 311-324.

New, M., D. Lister, M. Hulme and I. Makin (2002). "A high-resolution data set of surface climate over global land areas." Climate Research 21(1): 1-25.

12. Annexes

Annexe 1 : Caractérisation de l'omnivorie des espèces telle qu'utilisée dans le calcul des métriques

Les taxons omnivores sont notés 1 et non omnivores 0. Seules les CPUEs des taxons notés 1 sont prises en compte dans le calcul de la métriques CPUE_OMNI.

Famille	Ancien nom latin	Nom latin	Id_taxon	OMNI
Cyprinidae	Abramis brama	Abramis brama	ABRABR	0
Cyprinidae	Abramis sp.	Abramis	ABRASP	0
Cyprinidae	Rutilus arcasii	Achondrostoma arcasii	ACHOAR	1
Acipenseridae	Acipenser baerii	Acipenser baerii	ACIPBA	0
Acipenseridae	Acipenser gueldenstaedtii	Acipenser gueldenstaedtii	ACIPGU	0
Acipenseridae	Acipenser nudiventris	Acipenser nudiventris	ACIPNU	1
Acipenseridae	Acipenser ruthenus	Acipenser ruthenus	ACIPRU	0
Acipenseridae	Acipenser stellatus	Acipenser stellatus	ACIPS1	0
Cyprinidae	Alburnus alburnus	Alburnus alburnus	ALBUAL	0
Cyprinidae	Alburnoides bipunctatus	Alburnoides bipunctatus	ALBUBI	0
Cyprinidae	Chalcalburnus chalcoides	Alburnus chalcoides	ALBUCH	1
Cyprinidae	Alburnus mento	Alburnus mento	ALBUME	0
Cyprinidae	Chalcalburnus macedonicus	Alburnus volviticus	ALBUVO	0
Cyprinidae	Alburnus sp.volvi	Alburnus sp.volvi	ALBUVV	0
Clupeidae	Alosa agone	Alosa agone	ALOSAG	0
Clupeidae	Alosa alosa	Alosa alosa	ALOSAL	0
Clupeidae	Alosa fallax	Alosa fallax	ALOSFA	0
Clupeidae	Alosa immaculata	Alosa immaculata	ALOSIM	0
Clupeidae	Alosa killarnensis	Alosa killarnensis	ALOSKI	0
Clupeidae	Alosa macedonica	Alosa macedonica	ALOSMA	0
Clupeidae	Alosa taica	Alosa taica	ALOSTA	0
Ictaluridae	Ameiurus melas	Ameiurus melas	AMEIME	1
Ictaluridae	Ameiurus nebulosus	Ameiurus nebulosus	AMEINE	1
Anguillidae	Anguilla anguilla	Anguilla anguilla	ANGUAN	0
Cyprinodontidae	Aphanius fasciatus	Aphanius fasciatus	APHAFA	1
Cyprinodontidae	Aphanius iberus	Aphanius iberus	APHAIB	0
Cyprinidae	Aspius aspius	Aspius aspius	ASPIAS	0
Atherinidae	Atheri boyeri	Atheri boyeri	ATHEBO	1
Cichlidae	Australoheros facetus	Australoheros facetus	AUSTFA	0
Cyprinidae	Abramis ballerus	Ballerus ballerus	BALLBA	0
Cyprinidae	Abramis sapa	Ballerus sapa	BALLSA	0
Cyprinidae	Barbus fluviatilis	Barbus barbus	BARBBA	0
Cyprinidae	Barbus balcanicus	Barbus balcanicus	BARBBL	0
Cyprinidae	Barbus bocagei	Luciobarbus bocagei	BARBBO	1
Cobitidae	Noemacheilus barbatula	Barbatula barbatula	BARBBR	0
Cyprinidae	Barbus comizo	Luciobarbus comizo	BARBCO	1
Cyprinidae	Barbus graellsii	Luciobarbus graellsii	BARBGR	1
Cyprinidae	Barbus haasi	Barbus haasi	BARBHA	0
Cyprinidae	Barbus meridiolis	Barbus meridiolis	BARBME	0
Cyprinidae	Barbus microcephalus	Luciobarbus microcephalus	BARBMI	1
Cyprinidae	Barbus sclateri	Luciobarbus sclateri	BARBSC	0
Cyprinidae	Barbus cyclolepis	Barbus strumicae	BARBST	0

Cyprinidae	Abramis bjoerk	Blicca bjoerk	BLICBJ	1
Cyprinidae	Carassius auratus	Carassius auratus	CARAAU	1
Cyprinidae	Carassius carassius	Carassius carassius	CARACA	1
Cyprinidae	Carassius gibelio	Carassius gibelio	CARAGI	1
Cyprinidae	Chondrostoma duriense	Pseudochondrostoma duriense	CHONDU	1
Cyprinidae	Chondrostoma genei	Protochondrostoma genei	CHONGE	0
Cyprinidae	Chondrostoma lemmingii	Iberochondrostoma lemmingii	CHONLE	1
Cyprinidae	Chondrostoma miegii	Parachondrostoma miegii	CHONMI	1
Cyprinidae	Chondrostoma sus	Chondrostoma sus	CHON	0
Cyprinidae	Chondrostoma polylepis	Pseudochondrostoma polylepis	CHONPO	1
Cyprinidae	Chondrostoma soetta	Chondrostoma soetta	CHONSO	0
Cyprinidae	Chondrostoma toxostoma	Parachondrostoma toxostoma	CHONTO	0
Cyprinidae	Chondrostoma vardarense	Chondrostoma vardarense	CHONV1	1
Cyprinidae	Chondrostoma willkommii	Pseudochondrostoma wilkommii	CHONWI	1
Clupeidae	Clupea sprattus	Clupea sprattus	CLUPSP	0
Cobitidae	Cobitis bilineata	Cobitis bilineata	COBIBI	0
Cobitidae	Cobitis calderoni	Cobitis calderoni	COBICA	0
Cobitidae	Cobitis elongatoides	Cobitis elongatoides	COBIEL	0
Cobitidae	Cobitis paludica	Cobitis paludica	COBIPA	0
Cobitidae	Cobitis strumicae	Cobitis strumicae	COBIST	1
Cobitidae	Cobitis taenia	Cobitis taenia	COBITA	0
Cobitidae	Cobitis vardarensis	Cobitis vardarensis	COBIVA	0
Salmonidae	Coregonus albula	Coregonus albula	COREAL	0
Salmonidae	Coregonus autumlis	Coregonus autumlis	COREAU	0
Salmonidae	Coregonus bezola	Coregonus bezola	COREBE	0
Salmonidae	Coregonus lavaretus	Coregonus lavaretus	CORELA	0
Salmonidae	Coregonus macrophthalmus	Coregonus macrophthalmus	COREM1	0
Salmonidae	Coregonus lavaretus marae	Coregonus marae	COREMA	0
Salmonidae	Coregonus peled	Coregonus peled	COREPE	0
Coregonidae	Coregonus sp	Coregonus sp	CORESP	0
Cottidae	Cottus gobio	Cottus gobio	COTTGO	0
Cottidae	Cottus poecilopus	Cottus poecilopus	COTTPO	1
Cottidae	Cottus sp	Cottus sp	COTTSP	0
Cyprinidae	Ctenopharyngodon idella	Ctenopharyngodon idella	CTENID	0
Cyprinidae	Cyprinus carpio	Cyprinus carpio	CYPRCA	1
Cyprinidae		Cyprinidae inconnu	CYPRUN	0
Esocidae	Esox lucius	Esox lucius	ESOXLU	0
Petromyzontidae	Eudontomyzon danfordi	Eudontomyzon danfordi	EUDODA	0
Petromyzontidae	Eudontomyzon mariae	Eudontomyzon mariae	EUDOMA	0
Poeciliidae	Gambusia affinis	Gambusia affinis	GAMBAF	0
Poeciliidae	Gambusia holbrooki	Gambusia holbrooki	GAMBHO	0
Gasterosteidae	Gasterosteus aculeatus	Gasterosteus aculeatus	GASTAC	0
Cyprinidae	Gobio albipintus	Romanogobio albipintus	GOBIAL	0
Cyprinidae	Gobio gobio	Gobio gobio	GOBIGO	0
Cyprinidae	Gobio kesslerii	Romanogobio kesslerii	GOBIKE	1
Cyprinidae	Gobio lozanoi	Gobio lozanoi	GOBILO	1
Cyprinidae	Gobio uranoscopus	Romanogobio uranoscopus	GOBIUR	1
Percidae	Gymnocephalus baloni	Gymnocephalus baloni	GYMNBA	1
Percidae	Gymnocephalus cernuus	Gymnocephalus cernua	GYMNCE	1
Percidae	Gymnocephalus schraetser	Gymnocephalus schraetser	GYMNSC	1

Salmonidae	Hucho hucho	Hucho hucho	HUCHHU	0
Acipenseridae	Huso huso	Huso huso	HUSOHU	0
Cyprinidae	Hyb	Hybrids cyprinid	HYBRID	0
Cyprinidae	Hypophthalmichthys molitrix	Hypophthalmichthys molitrix	HYPOMO	0
Cyprinidae	Aristichthys nobilis	Hypophthalmichthys nobilis	HYPONO	0
Cyprinidae	Squalius alburnoides hybrid	Iberocypris alburnoides	IBERAL	0
Ictaluridae	Silurus punctatus	Ictalurus punctatus	ICTAPU	1
Gobiidae	Knipowitschia caucasica	Knipowitschia caucasica	KNIPCA	0
Petromyzontidae	Lampetra fluviatilis	Lampetra fluviatilis	LAMPFL	0
Petromyzontidae	Lampetra planeri	Lampetra planeri	LAMPPL	0
Centrarchidae	Lepomis gibbosus	Lepomis gibbosus	LEPOGI	0
Cyprinidae	Leuciscus burdigalensis	Leuciscus burdigalensis	LEUCBU	1
Cyprinidae	Leucaspius delineatus	Leucaspius delineatus	LEUCDE	1
Cyprinidae	Leuciscus idus	Leuciscus idus	LEUCID	0
Cyprinidae	Leuciscus leuciscus	Leuciscus leuciscus	LEUCLE	1
Mugilidae	Liza aurata	Liza aurata	LIZAAU	0
Mugilidae	Liza ramada	Liza ramada	LIZARA	0
Lotidae	Lota lota	Lota lota	LOTALO	0
Centrarchidae	Micropterus salmoides	Micropterus salmoides	MICRSA	0
Cobitidae	Misgurnus anguillicaudatus	Misgurnus anguillicaudatus	MISGAN	0
Cobitidae	Misgurnus fossilis	Misgurnus fossilis	MISGFO	0
Mugilidae	Mugil cephalus	Mugil cephalus	MUGICE	0
Mugilidae		Mugilidae inconnu	MUGIUN	0
Gobidae	Neogobius fluviatilis	Neogobius fluviatilis	NEOGFL	0
Gobidae	Neogobius gymnotrachelus	Neogobius gymnotrachelus	NEOGGY	0
Gobidae	Neogobius kessleri	Neogobius kessleri	NEOGKE	0
Gobidae	Neogobius melanostomus	Neogobius melanostomus	NEOGME	0
Salmonidae	Oncorhynchus mykiss	Oncorhynchus mykiss	ONCOMY	0
Osmeridae	Osmerus eperlanus	Osmerus eperlanus	OSMEEP	0
Balitoridae	Oxynoemacheilus bureschi	Oxynoemacheilus bureschi	OXYNBU	0
Cyprinidae	Pachychilon macedonicum	Pachychilon macedonicum	PACHMA	0
Gobiidae	Padogobius bonelli	Padogobius bonelli	PADOBO	0
Cyprinidae	Pelecus cultratus	Pelecus cultratus	PELECU	1
Percidae	Perca fluviatilis	Perca fluviatilis	PERCFL	0
Eleotridae	Perccottus glenii	Perccottus glenii	PERCGL	0
Percidae		Percidae inconnu	PERCUN	0
Petromyzontiformes	Petromyzon marinus	Petromyzon marinus	PETRMA	0
Cyprinidae	Phoxinus phoxinus	Phoxinus phoxinus	PHOXPH	0
Pleuronectidae	Platichthys flesus	Platichthys flesus	PLATFL	0
Gobiidae	Pomatoschistus minutus	Pomatoschistus minutus	POMAMI	0
Gobidae	Proterorhinus marmoratus	Proterorhinus semiluris	PROTSE	0
Cyprinidae	Pseudorasbora parva	Pseudorasbora parva	PSEUPA	1
Gasterosteidae	Pungitius pungitius	Pungitius pungitius	PUNGPU	0
Cyprinidae	Rhodeus amarus	Rhodeus amarus	RHODAM	1
Cyprinidae	Rhodeus sericeus	Rhodeus sericeus	RHODSE	0
Cyprinidae	Rutilus aula	Rutilus aula	RUTIAU	1
Cyprinidae	Rutilus meidingeri	Rutilus meidingeri	RUTIME	0
Cyprinidae	Rutilus rubilio	Rutilus rubilio	RUTIR1	1
Cyprinidae	Rutilus rutilus	Rutilus rutilus	RUTIRU	1
Cobitidae	Sabanejewia aurata	Sabanejewia baltica	SABABA	0

Blenniidae	Blennius fluviatilis	Salaria fluviatilis	SALAFL	0
Salmonidae	Salmo carpio	Salmo carpio	SALMCA	0
Salmonidae	Salmo ferox	Salmo ferox	SALMFE	0
Salmonidae	Salmo labrax	Salmo labrax	SALMLA	1
Salmonidae	Salmo nigripinnis	Salmo nigripinnis	SALMNI	0
Salmonidae	Salmo salar	Salmo salar	SALMSA	0
Salmonidae	Salmo stomachicus	Salmo stomachicus	SALMST	0
Salmonidae	Salmo trutta fario	Salmo trutta fario	SALMTF	0
Salmonidae	Salmo trutta lacustris	Salmo trutta lacustris	SALMTL	0
Salmonidae	Salmo trutta	Salmo trutta	SALMTR	0
Salmonidae	Salmo trutta trutta	Salmo trutta trutta	SALMTT	0
Salmonidae	Salvelinus fontilis	Salvelinus fontilis	SALVFO	0
Salmonidae	Leuctra pseudocingulata	Salvelinus maycush	SALV	0
Salmonidae	Salvelinus alpinus	Salvelinus umbla	SALVUM	0
Percidae	Stizostedion lucioperca	Sander lucioperca	SANDLU	0
Percidae	Sander volgensis	Sander volgensis	SANDVO	0
Cyprinidae	Scardinius erythrophthalmus	Scardinius erythrophthalmus	SCARER	1
Siluridae	Silurus aristotelis	Silurus aristotelis	SILUAR	0
Siluridae	Silurus glanis	Silurus glanis	SILUGL	0
Cyprinidae	Squalius alburnoides	Squalius alburnoides	SQUAAL	0
Cyprinidae	Squalius carolitertii	Squalius carolitertii	SQUACA	0
Cyprinidae	Leuciscus cephalus	Squalius cephalus	SQUACE	1
Cyprinidae	Squalius orpheus	Squalius orpheus	SQUAOR	1
Cyprinidae	Squalius pyreicus	Squalius pyreicus	SQUAPY	0
Syngthidae	Syngthus abaster	Syngthus abaster	SYNGAB	0
Cyprinidae	Leuciscus souffia	Telestes souffia	TELESO	0
Salmonidae	Thymallus thymallus	Thymallus thymallus	THYMTH	0
Cyprinidae	Tinca tinca	Tinca tinca	TINCTI	1
Cottidae	Triglopsis quadricornis	Triglopsis quadricornis	TRIGQU	0
Esocidae	Umbra krameri	Umbra krameri	UMBRKR	0
Umbridae	Umbra pygmae	Umbra pygmae	UMBRPY	0
Valenciidae	Valencia hispanica	Valencia hispanica	VALEHI	0
Cyprinidae	Vimba melanops	Vimba melanops	VIMBME	1
Cyprinidae	Vimba vimba	Vimba vimba	VIMBVI	0
Percidae	Zingel asper	Zingel asper	ZINGAS	0
Percidae	Zingel streber	Zingel streber	ZINGST	0
Percidae	Zingel zingel	Zingel zingel	ZINGZI	0

Annexe 2 : Script et fonctions R développés pour le calcul de l'IIL

Ces fonctions sont fournies aux utilisateurs pour faciliter le calcul de l'IIL. Elles ne doivent pas être modifiées et correspondent au calcul de l'IIL tel qu'il est définit à la date de publication de ce document.

Pour que le script fonctionne il convient que les métriques aient été calculées préalablement et stockées dans un "data.frame" dont les colonnes sont "CPUE", "BPUE", "CPUE_OMNI". L'ordre n'a pas d'importance, mais les métriques ne doivent pas être préalablement transformées.

Il convient de stocker les valeurs des paramètres environnementaux dans un "data.frame" dont les colonnes sont "PMAX" pour la profondeur maximale (en m), "SLAC" pour la surface du lac (en km²), "SBV" pour la surface du bassin versant (en km²), "ALTI" pour l'altitude (en m), "TMOY" pour la température moyenne (en °C) et "TAMP" pour l'amplitude thermique (en °C). Si les colonnes n'ont pas exactement le même nom alors le script s'arrêtera. Comme pour les métriques, l'ordre des colonnes n'a pas d'importance mais les valeurs ne doivent pas être transformées. Il est très important que les lignes des deux tableaux correspondent aux mêmes plans d'eau.

```
############################################################
###### FONCTIONS
############################################################

# Fonction qui prépare les tableaux de données environnementales
prep.env <- function(tab, ...){
  # transformation des données
  tab$PMAX <- log(tab$PMAX)
  tab$PMAX2 <- tab$PMAX^2
  tab$SLAC <- log(tab$SLAC)
  tab$SLAC2 <- tab$SLAC^2
  tab$SBV <- log(tab$SBV)
  tab$SBV2 <- tab$SBV^2
  # crée une variable pour l'altitude au carré
  tab$ALTI2 <- tab$ALTI^2
  # crée une variable pour la température moyenne au carré
  tab$TMOY2 <- tab$TMOY^2
  # crée une variable pour l'amplitude de la température au carré
  tab$TAMP2 <- tab$TAMP^2
  tab <- tab[, c("PMAX", "PMAX2", "SLAC", "SLAC2", "SBV", "SBV2", "ALTI",
"ALTI2", "TMOY", "TMOY2", "TAMP", "TAMP2")]
  tab <- as.matrix(tab)
  return(tab)
  }

# Fonction qui prépare les métriques
prep.met <- function(tab, ...){
  # transformation des données
  tab$CPUE <- log(tab$CPUE)
  tab$BPUE <- log(tab$BPUE)
  tab$CPUE_OMNI <- log(tab$CPUE_OMNI+0.0625)
  tab <- tab[,c("CPUE", "BPUE", "CPUE_OMNI")]
  tab <- as.matrix(tab)
  return(tab)
  }

# Fonction pour prédire les valeurs attendues des métriques
pred.met <- function(tab, ...){
  tab <- cbind(1, tab)
  pred <- (tab)%*%coef.eu
  # il faut ajouter l'effet du phospore pour une concentration à 0.05
```

```
  CLCNONAT <- c(2.26873440617257e-05, 1.43117637326456e-05,
2.55164062883454e-05)
  TP <- c(-0.266202644532709, 0.0990096722878883, 0.415960944509223)

  pred <- t(pred)+CLCNONAT
  pred <- pred+TP

  pred <- t(pred)
  cl <- class(pred)
  return(pred)
  }

# Fonction pour le calcul des EQRs
eqr <- function(obs, pred, ...){
  tab <- obs-pred
  eqr <- 1-((t(tab)-
anch.eu[colnames(tab),"Q5"])/(anch.eu[colnames(tab),"Q95"]-
anch.eu[colnames(tab),"Q5"]))
  eqr[eqr>1] <- 1
  eqr[eqr<0] <- 0
  eqr <- t(eqr)
  return(eqr)
  }

# fonction pour le calcul de la note de l'indice
index <- function(eqr, EQR=FALSE, ...){
  ind <- rowSums(eqr)
  ind <- (ind-anch.eu["INDEX", "Q5"])/(diff(anch.eu["INDEX",]))
  ind[ind>1] <- 1
  ind[ind<0] <- 0
  ind_class <- rep("Ma", length(ind))
  ind_class[ind>0.145551680569492] <- "Me"
  ind_class[ind>0.291103461138983] <- "Mo"
  ind_class[ind>0.436655241708475] <- "B"
  ind_class[ind>0.582207022277966] <- "TB"
  ind <- data.frame(Indice=ind, Classe=ind_class)
  if (EQR)
    ind <- cbind(eqr, ind)
  return(ind)
  }

############################################################
###### OBJETS NECESSAIRES AU CALCUL
############################################################

# Les coefficients des modèles les métriques
coef.eu <- structure(c(0.891017401071643, 0.340664718169889, -
0.15644394098031,
0.191853176489821, 0, -0.0769851021516361, 0, -0.00226562479045432,
1.32890173549826e-06, 0, 0, 0.276305295323202, -0.00547308272263263,
7.13773198165588, 0, -0.0725998165700184, 0.139946805952772,
0.018624962154899, -0.0741196647035312, 0, 0, 0, -0.114912087886282,
0.00751770496390253, 0.0979289023268421, -0.00323124560816983,
-7.95115246974233, 0, -0.127106559800694, 0, 0.051806336032433,
0, 0.0132218783650746, -0.00498701914253233, 4.05954397105649e-06,
0.137376154776947, 0, 0.806385285859418, -0.0152233505388229), .Dim =
c(13L,
```

```
3L), .Dimnames = list(c("Intercept", "PMAX", "PMAX2", "SLAC",
"SLAC2", "SBV", "SBV2", "ALTI", "ALTI2", "TMOY", "TMOY2", "TAMP",
"TAMP2"), c("CPUE", "BPUE", "CPUE_OMNI")))


# Les ancres pour le calcul des EQR européens
anch.eu <- structure(c(-0.625779505761553, -0.560016247668769, -
1.81281026031442,
0.231730439816851, 1.93810864298356, 1.61878299414009, 2.71250710818006,
2.64323857976117), .Dim = c(4L, 2L), .Dimnames = list(c("CPUE",
"BPUE", "CPUE_OMNI", "INDEX"), c("Q5", "Q95")))

############################################################
###### SCRIPT
############################################################
# objets préalables :
# met : data.frame qui contient les valeurs des trois métriques
# env : data.frame qui contient les valeurs des paramètres environnementaux

# transformation des métriques
mets <- prep.met(met)

# préparation du tableau de variable environnementale :
# transformation et ajout des variables au carré
envs <- prep.env(env)

# prédiction des valeurs attendues des métriques
preds <- pred.met(envs)

# calcul des EQRs
eqrs <- eqr(mets, preds)

# calcul des indices
inds <- index(eqrs, EQR=TRUE)
# l'argument EQR=TRUE permet de conserver les notes d'EQR
# il n'est pas indispensable
```





Irstea

1, rue Pierre Gilles de Gennes
CS 10030
92761 Antony

01 40 96 61 21

www.irstea.fr

Onema

Hall C – Le Nadar
5, square Félix Nadar
94300 Vincennes

01 45 14 36 00

www.onema.fr