

Paramètres, calcul et interprétation de l'Indice Biotique d'Intégrité Piscicole (IBIP) pour la préservation de la biodiversité aquatique africaine: Synthèse bibliographique

[Parameters, calculation and interpretation of the Index of Biotic Piscicultural Integrity (IBPI) for the preservation of the African aquatic biodiversity: Bibliographic synthesis]

Gildas Djidohokpin, Edmond Sossoukpè, and Emile D. Fiogbé

Laboratoire de Recherche sur les Zones Humides (LRZH), Département de Zoologie, Faculté des Sciences et Techniques (FAST), Université d'Abomey- Calavi (UAC), Benin

Copyright © 2016 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This review article set out of the parameters used in the evaluation of the biotic integrity of the aquatic resources based on the pisciculturals communities and the sequences of the stages to follow for the calculation and the interpretation of this index.

In the search of information about these parameters and the sequences of the stages to follow for the calculation and the interpretation of this index, several published scientific works and the published books were consulted and their synthesis was made. The review of research results revealed that the IBPI in Africa integrates sixteen parameters. Four reflect wealth and the specific composition, seven wealth relative taxonomic, and five, abundance relative trophic of fish. Every parameter takes a score in function some perturbation and their sum gives a total score for the sampled station and permits to assign him a class of integrity.

The IBPI trusts several variables or parameters and their criteria of quotation measuring different aspects of the structure and the function of the ichthyologic communities that appear, on the whole, to answer changes of weak amplitude as well as to modifications more important of the ecosystem, susceptible to give better account of the level of quality or deterioration of these ecosystems and of their capacity to maintain the balance of their biocenosis.

KEYWORDS: index, biotic, piscicultural integrity, aquatic biodiversity.

RÉSUMÉ: Le présent article de revue fait état des paramètres utilisés dans l'estimation de l'intégrité biotique des ressources aquatiques africaines basées sur les communautés piscicoles et les séquences des étapes à suivre pour le calcul et l'interprétation de cet indice.

Dans la recherche des informations sur ces paramètres et les séquences des étapes à suivre pour le calcul et l'interprétation de l'indice, plusieurs travaux scientifiques publiés et des livres édités ont été consultés et leur synthèse a été faite. L'examen des résultats de recherche a révélé que l'IBIP en Afrique intègre seize paramètres. Quatre reflètent la richesse et la composition spécifique, sept la richesse taxonomique relative, et cinq, l'abondance trophique relative des poissons. Chaque paramètre prend un score en fonction des perturbations et leur somme donne un score total pour la station échantillonnée et permet de lui attribuer une classe d'intégrité.

L'IBIP se fie à plusieurs variables et leurs critères de cotation mesurant différents aspects de la structure et de la fonction des communautés ichthyologiques qui apparaissent, dans l'ensemble, répondre à des changements de faible amplitude aussi bien qu'à des modifications plus important de l'écosystème, susceptibles de mieux rendre compte du niveau de qualité ou de dégradation de ces écosystèmes et de leur capacité à maintenir l'équilibre de leurs biocénoses.

MOTS-CLEFS: indice, biotique, intégrité piscicole, biodiversité aquatique.

1 INTRODUCTION

Dans la plupart des pays, la qualité des eaux s'est dégradée au cours des dernières décennies malgré l'instauration de lois et de règlements et le dégagement de moyens plus ou moins importants pour maintenir voir réhabiliter l'intégrité des écosystèmes aquatiques [1]. Cette inefficacité résulte certainement du choix quasi exclusif des paramètres physico-chimiques pour évaluer la qualité des eaux. Bien que ces paramètres soient aisément mesurables et permettent des contrôles de routine avec traitements statistiques, ils ne sont pas adéquats pour évaluer et surveiller l'intégrité globale des écosystèmes. C'est pourquoi l'intégrité biotique des ressources aquatiques a continué à se dégrader [2], [3], [4]. La référence [5] lors de ses études en 2002 affirme d'ailleurs que la surveillance de la qualité de l'eau basée exclusivement sur la mesure de la concentration de polluants dans l'eau ne permet pas de tirer des conclusions sur la santé de l'écosystème. Elle ne renseigne pas sur la qualité de l'habitat, n'évalue pas l'effet des polluants non mesurés ou présents à des seuils inférieurs aux limites de détection des méthodes analytiques, ni les effets synergiques, additifs et antagonistes des différents polluants sur les organismes vivants. Des mesures relatives aux êtres vivants sont donc nécessaires [6], [7], [8] [9], [5].

Le suivi des communautés biologiques constitue donc une approche holistique et systémique pour l'évaluation des cours d'eau [8]. En effet, les communautés biologiques reflètent les conditions du bassin versant parce qu'elles sont sensibles aux changements de nombreux facteurs environnementaux [10]. Plusieurs groupes taxinomiques permettent d'effectuer le suivi de la qualité des écosystèmes aquatiques, notamment les poissons qui possèdent plusieurs attributs d'un bon indicateur environnemental [11], [12], [3], [13]: ils sont omniprésents dans la plupart des plans d'eau, quels qu'en soient la taille ou le niveau d'intégrité; ils occupent plusieurs niveaux trophiques, ce qui permet une intégration verticale des changements et perturbations qui surviennent dans la chaîne alimentaire; certaines espèces sont longévives et se déplacent, ce qui permet une intégration à la fois temporelle et spatiale; ils sont généralement faciles à échantillonner et à identifier; des connaissances étendues existent sur la biologie et les exigences de nombreuses espèces; ils se prêtent à la mesure des conditions chroniques ou aiguës induites par les substances toxiques; et finalement, ils ont l'intérêt du grand public et des décideurs en raison de leur valeur socio-économique, ce qui se traduit par un support important à la recherche dans ce domaine. Du fait de leur durée de vie relativement longue (2 à plus de 20 ans), l'analyse de leur population (classe d'âge, taux de mortalité, succès reproductif, régime alimentaire, etc.) peut permettre de déceler un quelconque problème survenu dans leur reproduction apportant ainsi des données historiques concernant d'éventuelles perturbations [1]. En conséquence, les poissons constituent de bons indicateurs globaux de l'environnement.

A l'évidence, il faut, pour une meilleure protection et une utilisation durable de nos écosystèmes aquatiques qui représentent de précieux réservoirs d'eau disponibles et largement exploités par les Hommes pour leurs différents besoins, rechercher des critères plus adéquats et plus globaux susceptibles de mieux rendre compte du niveau de qualité ou de dégradation de ces écosystèmes et de leur capacité à maintenir l'équilibre de leurs biocénoses; ceci passe par la connaissance de leur fonctionnement écologique. La clé d'un contrôle biologique efficace nécessite donc le développement d'une approche plus globale basée sur un fondement écologique robuste permettant d'évaluer l'ensemble des impacts humains sur les ressources aquatiques [14]. A cette fin un « Index Biotic of Integrity » (IBI) basé sur les communautés de poissons appelés Indice Biotique d'Intégrité Piscicole (IBIP) a été mis au point dans le Middle West américain durant les années 80 ([2], [3]). Depuis lors, l'IBI a été adapté et testé à d'autres régions du continent ainsi que sur des rivières d'autres continents [15], [16], [13] etc.

Cette synthèse vise à faire ressortir les paramètres utilisés dans l'estimation de l'intégrité biotique des ressources aquatiques en Afrique basées sur les communautés piscicoles et les séquences des étapes à suivre pour le calcul et l'interprétation de cet indice.

2 MATERIEL ET METHODES

Dans la recherche des informations sur les paramètres utilisés dans l'estimation de l'intégrité biotique des ressources aquatiques en Afrique basées sur les communautés piscicoles et les séquences des étapes à suivre pour le calcul et l'interprétation de cet indice, plusieurs travaux scientifiques publiés de et des livres édités ont été consultés et leur synthèse a été faite.

3 RESULTATS

3.1 PARAMETRES UTILISES DANS L'ESTIMATION DE L'INTEGRITE BIOTIQUE PISCICOLE EN AFRIQUE

L'indice d'intégrité biotique (IIB) [2] [3] est une mesure synthétique colligeant plusieurs caractéristiques des communautés de poissons qui permet d'évaluer l'état de santé des cours d'eau, tant sur le plan spatial que temporel. L'IIB original intègre douze variables ou paramètres mesurant différents aspects de la structure et de la fonction des communautés ichthyologiques. Ces paramètres ont été d'abord répartis en deux catégories à savoir Composition et Richesses spécifiques et Facteurs écologiques par [2]) et par la suite [3] ont subdivisé la catégorie « Facteurs écologiques » en deux nouvelles catégories : Composition trophique et Condition et abondance des poissons. Parmi ces variables, six reflètent la richesse et la composition spécifique, trois, la composition trophique et trois, la condition et abondance des poissons. En Afrique où les études sur l'IBI sont encore récentes on dénombre plus de douze paramètres répartis également en trois catégories qui sont: les descripteurs "généraux", les descripteurs "taxonomiques" et les descripteurs "trophiques".

En effet un IIB unique ne peut toutefois être appliqué universellement. Développé pour les ruisseaux et rivières peu profondes du Midwest américain [2], [3], des modifications sont nécessaires lorsque l'IIB est appliqué dans d'autres entités géographiques ou d'autres types d'écosystèmes (lacs, grandes rivières, eaux froides), ne serait-ce que pour tenir compte des variations régionales au niveau de la composition des espèces [17].

Cet outil de suivi a été développé pour les ruisseaux du Midwest des États-Unis et adapté à plus d'une centaine de reprises pour les écosystèmes aquatiques de tous les continents [18], [19], [20].

En somme, les différents descripteurs biologiques des communautés ichthyologiques utilisés dans l'étude de la qualité des eaux africaines et qui se sont avérées efficace pour identifier des perturbations se présentent comme suit :

➤ Composition et richesse spécifique (descripteurs généraux)

Cette catégorie rend compte de la richesse spécifique et, par extension, de la composition spécifique en relation avec la taille du cours d'eau et les facteurs zoogéographiques. Les valeurs attendues pour la richesse spécifique dans des aires non perturbées doivent être basées sur des facteurs tels que la région, la taille du cours d'eau, l'altitude, la pente, etc. [1]. Les paramètres inclus sont :

1. Nombre d'espèces natives ([21], [22], [23], [24], [25], [26])

Description

Le nombre d'espèces de poissons rencontrées dans un cours d'eau de taille connue et se trouvant dans une région diminue lorsque les dégradations environnementales augmentent. Ce paramètre ne considère pas les espèces introduites étant donné qu'elles vont de pair avec la dégradation de l'habitat. Pour [17] les espèces introduites (par inadvertance ou ensemencement) et les espèces exotiques sont exclues puisque leur présence peut être indicatrice d'une diminution de l'intégrité biotique du milieu. Ainsi les individus introduits sont mieux adaptés aux nouvelles conditions ou si la population de prédateurs ou compétiteurs natifs est déséquilibrée, les habitats altérés seront plus facilement colonisés par ces individus que les habitats non perturbés [27]. Différente de la métrique originale "nombre total d'espèces" [2], le nombre d'espèces natives exclue donc de son effectif les espèces introduites et marines.

2. Indice de Shannon-Weaver ([25])

Description

L'indice de Shannon-Weaver (H') mesure le degré d'organisation du peuplement [28]. La dominance d'une espèce ou la forte présence de quelques espèces à un site indique une augmentation de l'influence des activités humaines [29].

Cette métrique est utilisée pour la première fois en Afrique par [25].

3. Capture par unité d'effort des natives ([21], [22], [23], [24])

Description

Ce paramètre détermine les populations de poissons et fait référence à la capture par unité de pêche (CPUE). L'effort de pêche peut être exprimé par la surface d'échantillonnage, la longueur échantillonnée ou le temps requis pour l'échantillonnage. Une haute valeur de la CPUE est souvent associée à des rivières enrichies tandis qu'une valeur faible se

rencontre dans des systèmes sévèrement dégradés [30]. Cette métrique est un bon indicateur de la productivité d'un système.

4. Biomasse des natives ([25], [26])

Description

La biomasse des individus natifs indique la condition du poisson dans son habitat [31]. En effet, le coefficient de condition augmente avec un milieu riche en aliment car le poisson se nourrit convenablement et son poids augmente. Cette métrique qui n'était pas incluse dans les métriques originales définies par [2], est sensible aux troubles et montre une baisse significative suite aux perturbations. La biomasse des poissons capturée a été utilisée par [32], [33] et aussi par [25] en Afrique de l'Ouest.

➤ **Richesse taxonomique relative (descripteurs taxonomiques)**

Les descripteurs taxonomiques sont représentés par le nombre d'espèces des principales familles de poissons. La classification taxonomique est basée sur les caractères morphologiques et indique également que la forme est liée à des aspects du rôle écologique des poissons dans l'écosystème [34]. Les familles analysées dans cette étude en Afrique sont les Mormyridae, les Alestidae, les Cyprinidae et les Cichlidae. Sept paramètres biologiques sont inclus dans ce descripteur :

5. Nombre des espèces benthiques ([21], [22])

Description

Ces espèces qui se nourrissent et se reproduisent dans des habitats benthiques sont particulièrement sensibles à la canalisation (dragage), à l'envasement et à la réduction d'oxygène [3]. Les espèces considérées ici sont indicatrices de modifications des habitats benthiques. Ces descripteurs sont, en effet, fortement influencés par la dégradation des composantes de l'habitat (le substrat, la largeur, la profondeur, la vitesse, la végétation et la description générale de l'environnement). Selon [35], les modifications de l'habitat sont dues aux écoulements par les discontinuités et les irrégularités des eaux à cause des barrages hydroélectriques.

6. Nombre des espèces benthiques siluriformes ([23], [24], [26])

Description

Les espèces benthiques et les espèces benthiques Siluriformes sont deux métriques sensées évaluées le degré de perturbation de l'habitat benthique [2]. Mais contrairement aux espèces benthiques, les Siluriformes benthiques sont grandes et vivent plus longtemps [23], donc plus sensibles au changement du fond. Le nombre d'espèces benthiques Siluriformes présente une augmentation significative des espèces relatives avec les perturbations. Elles ont été proposées par [9] et [23] en remplacement de la métrique originale "*number of suker species*" de [2].

7. Nombre des espèces pélagiques ([21])

Description

Les espèces pélagiques qui regroupent en majorité en Afrique les Characiformes et Cypriniformes [21] sont une métrique qui reflète l'état du milieu aquatique dans la colonne d'eau.

8. Nombre des espèces de Mormyridae ([23])

Description

Les Mormyridae sont des espèces sensibles aux pollutions [23]. Les espèces intolérantes sont les premières à disparaître à la suite d'une dégradation de la qualité de l'eau, de l'habitat ou d'une combinaison de ces deux types et les dernières à réapparaître après leur restauration ([3], [36]). Ce paramètre permet donc d'évaluer dans quelle proportion une espèce intolérante à la pollution domine ou non la communauté.

9. Nombre des espèces de Cichlidae ([21], [23], [26])

Description

Les Cichlidae sont pour la plupart des espèces adaptées à vivre en bordure des rives ou dans l'eau en présence des végétaux supérieurs [37]. Chez les Cichlidae contrairement aux benthiques Siluriformes on observe plutôt une diminution significative des espèces relatives avec les perturbations. La référence [38] suggère qu'en zone tropicale, cette métrique (Nombre d'espèces de Cichlidae) remplace la métrique "*number of sunfish*" proposée par [2]. Cette métrique va permettre de mesurer le degré de dégradation de la végétation submergée.

10. Nombre des espèces de Cyprinidae ([24], [25])

Description

Les Cyprinidae sont des espèces avec une orientation bidirectionnelle (espèces de colonne d'eau ou benthiques) dans l'eau [24].

11. Nombre des espèces d'Alestidae ([24])

Description

Les Alestidae sont en général des nageurs pélagiques [24] sensibles aux dégradations des habitats pélagiques et à d'autres aspects de la structure de l'habitat sont considérées dans ce paramètre.

➤ **Abondance trophique relative (descripteurs trophiques)**

Les descripteurs trophiques utilisés ici proviennent de l'examen des contenus stomacaux des poissons capturés sur les cours d'eau. Comme le démontre [3] l'analyse de la structure trophique d'une communauté peut fournir des informations sur sa production et sa consommation. Les paramètres de cette catégorie au nombre de six (6) permettent donc d'évaluer les altérations au niveau du fonctionnement de la communauté. Les espèces sont assignées aux groupes trophiques sur base du régime alimentaire des adultes. Le régime alimentaire des espèces dont le nombre d'individus adultes est inférieur à cinq, ou dont l'estomac est vide, est fourni par d'autres auteurs.

12. Pourcentage des individus omnivores ([21], [22], [23], [24], [25])

Description

La proportion d'individus omnivores est la métrique qui mesure le degré d'altération de la ressource alimentaire dans le milieu aquatique [2]. Les individus omnivores sont capables de se nourrir, en quantité significative, de matériel végétal ou animal (y compris les détritiques). Ils dominent lorsque certaines ressources spécifiques deviennent moins disponibles. Dans les milieux dégradés, les espèces omnivores, peu exigeantes quant à la nature de leurs alimentations (végétales et animales), sont supposées être avantagées par rapport aux espèces ayant un régime strict.

13. Pourcentage des individus piscivores ([21], [22], [23], [24], [25])

Description

Cette variable permet de distinguer les milieux d'intégrité supérieure et moyenne [39]. Elle considère les individus qui se nourrissent, au stade adulte, majoritairement de poissons mais aussi de grands invertébrés. En effet, des populations robustes et viables d'espèces piscivores reflètent une communauté saine et diversifiée sur le plan trophique [3].

14. Pourcentage des individus invertivores ([21], [22], [23], [24], [25])

Description

La proportion des individus invertivores, développé par [9], est une modification de la métrique «pourcentage d'individus insectivores» de [2]. Ce nouveau paramètre est plus général car il englobe tous les poissons se nourrissant d'invertébrés autre que les insectes. Cette métrique évalue indirectement une dégradation de la communauté d'invertébrés présente dans le milieu [2]. Les insectivores (toutes espèces confondues) sont substitués à cette variable, tel que suggéré par [3] et appliqué par plusieurs autres [40], [41], [42], [43], [44].

15. Pourcentage des individus herbivores ([21] [22] [26])

Description

Les proportions des individus herbivores (végétaux supérieurs) permettent d'évaluer la qualité nutritive du système aquatique basée sur la production primaire [21]. Le pourcentage des individus herbivores n'était pas inclus dans les métriques originales de [2].

16. Pourcentage des individus planctonophages ([21], [25])

Description

Les phytoplanctonophages (algues, diatomées) et les individus herbivores (végétaux supérieurs) et sont deux métriques rarement utilisées. Elles permettent d'évaluer la qualité nutritive du système aquatique basée sur la production primaire [21].

3.2 CALCUL ET INTERPRETATION DE L'IBIP

Après avoir prédit Y (descripteur biologique) en fonction de X (variables environnementales) à l'aide d'une régression, on garde les résidus standardisés (variance=1) comme scores ; éventuellement inverser leur signe selon que la métrique réagit positivement ou négativement avec les perturbations [45]. Pour construire l'IIB, on fait la somme des scores des différentes métriques retenues, qui ont alors le même poids (même variance).

Convertir l'indice final (somme de résidus standardisés) en classes, est relativement arbitraire, il n'y a pas de méthode standard. Une méthode simple, la suivante peut être utilisée: classer les stations selon la valeur de l'indice final, de la plus faible à la plus élevée. Des classes d'intégrité ont été définies. L'indice prend des valeurs faibles si le site est perturbé (la classe 1 correspondant alors à l'état le plus dégradé) et élevé dans un état de référence (classe 5). Il faut trouver la valeur de l'indice L1 pour laquelle 20% des sites ont une valeur inférieure ou égale à L1. Les limites de la classe 1 seront :] - ∞; L1]. Ensuite, la valeur L2 pour laquelle 40% des sites auront une valeur inférieure ou égale à L2 est recherchée. Les limites de la classe 2 seront :] L1; L2]; et ainsi de suite jusqu'à la 5^{ème} classe.

L'estimation des paramètres sous-entend qu'ils sont supposés être corrélés à l'intégrité biotique celles-ci étant un concept abstrait qui ne peut être mesuré directement. Individuellement, chaque paramètre fournit de l'information à propos d'un attribut spécifique du site échantillonné. Ensemble, ils caractérisent l'intégrité biotique du site. Les valeurs des 16 paramètres sont fonction de l'intégrité biotique mais l'intégrité biotique n'est pas fonction de ces valeurs. Les 16 paramètres de l'IBI sont le reflet de plusieurs niveaux d'études de la vie aquatique : individu, population, communauté, écosystème [46]. La somme des scores des seize paramètres permet donc d'assigner une classe d'intégrité au site échantillonné.

Tableau : Classes d'intégrité biotique des indices développés pour un cours d'eau et leur signification environnementale [3], [47]

Limites des valeurs de l'indice	Classes d'intégrité	Significations environnementales
] L4; + ∞ [Excellente	Situation identique ou très proche de la situation naturelle non perturbée, dite de référence. Toutes les espèces typiques de l'habitat et de la taille du cours d'eau sont présentes, y compris les plus tolérantes, dans un spectre complet de classes d'âge (ou de taille); structure trophique équilibrée.
] L3; L4]	Bonne	Biocénoses équilibrées mais pouvant présenter des différences avec les valeurs de référence, du fait de la disparition des espèces les plus intolérantes; abondance ou distribution de taille de certaines espèces en deçà de l'optimum; structure trophique qui montre des signes de perturbation.
] L2; L3]	Moyenne	situation significativement différente de la situation de référence : disparition de la quasi-totalité des taxons caractéristiques et/ou déséquilibre notable de la structure des peuplements (disparition d'espèces intolérantes, augmentation de la proportion des tolérants et d'omnivores, rareté possible des classes d'âge supérieures) avec toutefois maintien d'une bonne diversité des taxons.
] L1; L2]	Pauvre	situation très différente de la situation de référence : disparition complète des taxons les plus sensibles et/ou un déséquilibre marqué de la structure des peuplements (Dominance des omnivores, des espèces tolérantes; peu de prédateurs primaires; taux de croissance et facteur de condition souvent en baisse; présence d'hybrides, etc.) accompagnée d'une réduction nette de leur diversité.
] - ∞; L1]	Très pauvre	biocénoses dominées par une diversité très réduite de taxons peu sensibles. Peu de poissons, surtout des espèces introduites ou tolérantes; hybrides communs; maladies, parasites, nageoires abîmées et autres anomalies courantes.

4 CONCLUSION

L'IBIP se fie à plusieurs variables et leurs critères de cotation mesurant différents aspects de la structure et de la fonction des communautés ichthyologiques qui apparaissent, dans l'ensemble, répondre à des changements de faible amplitude aussi bien qu'à des modifications plus importantes de l'écosystème, susceptibles de mieux rendre compte du niveau de qualité ou de dégradation de ces écosystèmes et de leur capacité à maintenir l'équilibre de leurs biocénoses. Bien que certains paramètres, semblent quelquefois redondants parce qu'ils peuvent être sensible au même impact, ils apparaissent, dans l'ensemble, répondre à des changements de faible amplitude aussi bien qu'à des modifications plus importantes de l'écosystème.

REMERCIEMENTS

Nos remerciements vont à l'endroit de tous les doctorants du Laboratoire de Recherche sur les Zones Humides (LRZH) et aux étudiants de la 3^{ème} promotion de Licence Hydrobiologie de la Faculté des Sciences et Techniques de l'Université d'Abomey-Calavi en particulier GANDJO Fidèle.

REFERENCES

- [1] J. Didier, P. Kestemont and J-C. Micha, Indice biotique d'intégrité piscicole (IBIP) pour évaluer la qualité écologique des écosystèmes aquatiques: Convention 2095 — Rapport final: Mars 1993 - Février 1997. Unité de Recherches en Biologie des Organismes (URBO), Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix, Namur, Belgique. 206 p, 1997.
- [2] J. R. Karr, Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries* 6(6): 21- 27, 1981.
- [3] J. R. Karr, K. D. Fausch, P. L. Angermeier, P. R. Yant, and I. J. Schlosser, Assessing biological integrity in running waters: a method and its rationale. *Illinois Natural History Survey Special Publication* 5, 28 p, 1986.
- [4] K. D. Fausch, J. Lyons, J. R. Karr and P. R. Angermeier, Fish communities as indicators of environmental degradation. *Am. Fish. Soc. Symp.*, 8, 123-144, 1990.
- [5] United States Environmental Protection Agency (USEPA), Biological Assessments and Criteria: Crucial Components of Water Quality Programs, United States Environmental Protection Agency, EPA 822-F-02-006, été 2002.
- [6] J. Cairns and K. L. Dickson, A simple method for the biological assessment of the effects of waste discharges on aquatic bottom-dwelling organisms. *Jour. Water Poll. Control Fed.* 43: 755-772, 1971.
- [7] J. R. Gammon, The use of community parameters derived from electrofishing catches of river fish as indicators of environmental quality, p. 335-363. In *Seminar on Water Quality Management Trade-Offs*. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. EPA-905/9-80-009, 1980.
- [8] Ohio EPA (Ohio Environmental Protection Agency), *Biological criteria for the protection of aquatic life: Volume 1. The role of biological data in water quality assessment*. Ohio Environmental Protection Agency, Ecological Assessment Section, Division of Water Quality Planning and Assessment, Columbus, Ohio, 1988a.
- [9] T. Oberdorff and R. M. Hughes, Modification of an index of biotic integrity based on fish assemblages to characterize rivers of the Seine Basin, France. *Hydrobiologia*. 228: 117-130, 1992.
- [10] J. R. Karr, Biological monitoring and environmental assessment: A conceptual framework. *Environ. Manage.* 11: 249-256, 1987.
- [11] M. L. Hendricks, C. H. Hocutt and J. R. Stauffer, Monitoring of Fish in Lotic Habitats, p. 205-231. In C.H. Hocutt and J.R. Stauffer, Jr., éd. *Biological Monitoring of Fish*. Lexington Books, Toronto, 1980.
- [12] H. E. Berkman, C. F. Rabeni and T. P. Boyle, Biomonitoring of stream quality in agricultural areas: fish versus invertebrates. *Environ. Manage.* 10: 413-419, 1986.
- [13] J. H. Harris, The use of fish in ecological assessments. *Australian Journal of Ecology*, 20: 65-80, 1995.
- [14] J. R. Karr, Biological monitoring: challenges for the future. In *Biological monitoring of aquatic ecosystems*, S. L. Loeb & A. Spacie (eds) Lewis Publishers, Boca Raton, FL, 357-373, 1994a.
- [15] D. W. Crumby, M.A. Webb, F.J. Bulow and H. J. Cathey, Changes in biotic integrity of a river in north-central Tennessee. *Trans. Am. Fish. Soc.* 119: 885-893, 1990.
- [16] Y. Richard, Les communautés ichthyologiques du bassin de la rivière L'Assomption et l'intégrité biotique des écosystèmes fluviaux. Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction des écosystèmes aquatiques, Québec. *Envirodoq* n° EN940235. Rapport n° QEN/QE- 89/1, 153 p. + 12 annexes, 1994.

- [17] N. La Violette, D. Fournier, P. Dumont, and Y. Mailhot, Caractérisation des communautés de poissons et développement d'un indice d'intégrité biotique pour le fleuve Saint-Laurent, 1995-1997. Société de la faune et des parcs du Québec, Direction de la recherche sur la faune, 237 p, 2003.
- [18] T. P. Simon and J. Lyons, Application of the Index of Biotic Integrity to evaluate water resource integrity in freshwater ecosystems, p. 245-262 In W. S. DAVIS and T. P. SIMON, éd. *Biological assessment and criteria: tools for water resource planning and decision making*. Lewis Publisher, Boca Raton, FL, 1995.
- [19] R. M. Hughes and T. Oberdorff, Applications of IBI concepts and metrics to waters outside the United States and Canada, p. 79-93. In T.P. Simon, éd. *Assessing the sustainability and biological integrity of water resources using fish communities*. CRC Press, New York. 671 p, 1999.
- [20] T. P. Simon, *Assessing the sustainability and biological integrity of water resources using fish communities*. CRC Press, New York. 671 p, 1999a.
- [21] C. H. Hocutt, P. N. Johnson, C. Hay and B. J. Van Zyl, Biological basis of water quality assessment: the Kavango River, Namibia. *Revue d'Hydrobiologie Tropicale*, 27:361-384, 1994.
- [22] C. J. Hay, B. J. Van Zyl and G. J. Steyn, A quantitative assessment of the biotic integrity of the Okavango River, Namibia, based on fish. *Water South Africa*, 22: 263-284, 1996.
- [23] B. Hugueny, S. Camara, B. Samoura and M. Magassouba, Applying an index of biotic integrity based on fish assemblages in a West African river. *Hydrobiologia*, 331: 71-78, 1996.
- [24] A. Kamdem Toham and G. Teugels, First data on an index of biotic integrity (IBI) based on fish assemblages for the assessment of the deforestation in a tropical West Africa river. *Hydrobiologia*, 397: 29-38, 1999.
- [25] G. Gooré Bi, Impact des activités humaines sur les communautés de poissons dans les systèmes aquatiques de la zone côtière ivoirienne (Cote d'Ivoire) : Etablissement d'un indice d'intégrité biotique (IIB). *Thèse de Doctorat d'État*. Université de Cocody, Abidjan (Côte d'Ivoire) 177 p, 2009.
- [26] B. R. D. Aboua, Développement d'un indice d'intégrité biotique piscicole pour la préservation de la biodiversité du fleuve Bandama. *Thèse de Doctorat d'État*. Université de Félix Houphouët Boigny (Côte d'Ivoire) 278 p, 2012.
- [27] P. B. Moyle, Biodiversity, biomonitoring, and the structure of stream fish communities. In *Biological monitoring of aquatic systems*. Loeb S.L & Species A. (eds) Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, 22-34, 1994.
- [28] M. Amanieu and G. Lasserre, Organisation et évolution des peuplements lagunaires. *Oceanologica Acta*, 201-213, 1982.
- [29] M. T. Barbour, J. M. Diamond and C. O. Yoder, Biological assessment strategies: Applications and Limitations. In Grothe D. R., Dickson K. L. and Reed-Judkins D.K. (Eds.) *Whole effluent toxicity testing: An evaluation of methods and prediction of receiving system impacts*, SETAC Press, Pensacola, Florida., 245-270, 1996.
- [30] R. J. Steedman, Modification and assessment of an index of biotic integrity to quantify stream quality in Southern Ontario. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 45: 492-501, 1988.
- [31] N. J. Kouassi, Influential environmental gradients and patterns of fish assemblages in a West African basin. *Hydrobiologia*, 603: 159-169. 2008.
- [32] T. Oderdorff and J-P. Porcher, An index of biotic integrity to assess biological impacts of salmonid farm effluents on receiving waters. *Aquaculture*, 119, 219-235, 1994.
- [33] C. K. Minns, V.W. Cairns, R.G. Randall & J.E. Moore, An index of biotic integrity (IBI) for fish assemblages in the littoral zone of Great Lakes' Areas of Concern. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 51: 1804-1822, 1994.
- [34] W. J. Matthews, *Patterns in freshwater fish ecology*. New York, Chapman & Hall, 1998.
- [35] M. B. Bain, A. L. Harig, D. P. Louck, R. R. Goforth and K. E. Mills, Aquatic ecosystem protection and restoration: advances in methods for assessment and evaluation. *Environmental science and policy*, 3: 89-98, 2000.
- [36] V. Ganasan and R. M. Hughes, Application of an index of biological integrity (IBI) to fish assemblages of the rivers Khan and Kshipra (Madhya Pradesh), India. *Freshw. Biol.* 40: 367-383, 1998.
- [37] K. O. Winemiller, L. C. Kelso-Winemiller and A. Brenkert, Ecomorphological diversification and convergence in fluvial cichlid fishes. *Environmental Biology of Fishes*, 44: 235-261, 1995.
- [38] K. D. Fausch, J. R. Karr and P. R. Yant, Regional application of an index of biotic integrity based on stream fish communities. *Transactions of the American Fisheries Society*, 112: 39-55, 1984.
- [39] M. T. Barbour., J. Gerristen, B. D. Snyder and J. B. Stribling, *Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and fish*, 2nd Edition U.S. Environmental Protection Agency (EPA), office of water, Washington, DC. EPA 841-B-99-002. 321 p, 1999.
- [40] R. M. Hughes and J. R. Gammon, Longitudinal changes in fish assemblages and water quality in the Willamette River, Oregon. *Trans. Am. Fish. Soc.* 116: 196-209, 1987.
- [41] OHIO EPA (OHIO ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY), *Biological criteria for the protection of aquatic life: Volume II. User's manual for biological field assessment of Ohio surface waters*. Ohio Environmental Protection Agency, Ecological Assessment Section, Division of Water Quality Planning and Assessment, Columbus, Ohio, 1988b.

- [42] J. Lyons, *Using the Index of Biotic Integrity (IBI) to measure environmental quality in warmwater streams of Wisconsin*. North Central Forest Experiment Station, Forest Service - U.S. Department of Agriculture, St.Paul, Minnesota. General Technical Report NC-149, 51 p. + 5 Appendices, 1992.
- [43] T. P. Simon, *Biological criteria development for large rivers with an emphasis on an assessment of the White River drainage, Indiana*. U.S. Environmental Protection Agency, Region V, Water Division, Water Quality Standards, Chicago, IL. EPA 905/R-92/006, 1992.
- [44] Jr. Hall, S. A. Fisher, W. D. Killen, M. C. Scott, M. C. Ziegenfuss and R.D. Anderson, Status assessment in acidsensitive and non-acid-sensitive Maryland coastal plain streams using an integrated biological, chemical, physical, and land-use approach. *J. Aquat. Ecosyst. Health* 3: 145-167, 1994.
- [45] D. Hering, C.K.Feld, O. Moog and T. Ofenbock, 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, 2006.
- [46] D.L. Miller, P.M. Leonard, R.M. Hughes, J.R. Karr, P.B. Moyle, L.H. Schrader, B.A. Thompson, R.A. Daniels, K.D. Fausch, G.A. Fitzhugh, J.R. Gammon, D.B. Halliwell, P.L. Angermeier and D.J. Orth, Regional applications of an index of biotic integrity for use in water resource management. *Fisheries* 13(5): 12-20, 1988.
- [47] F. Solacroup, Le système d'évaluation de la qualité biologique (seq-bio) des cours d'eau. *Revue de l'agence de l'eau Adour Garonne*, 81: 16, 2001.