

# Les hydro-écorégions : une approche fonctionnelle de la typologie des rivières pour la Directive cadre européenne sur l'eau

Jean-Gabriel Wasson, André Chandesris, Hervé Pella et Laurence Blanc

*La mise en œuvre de la Directive cadre européenne sur l'eau passe par l'établissement d'une typologie des rivières permettant de définir des conditions de référence biologiques, mais aussi hydromorphologiques et physicochimiques. Après une présentation du cadre conceptuel, les auteurs nous expliquent dans cet article en quoi la typologie des eaux courantes par hydro-écorégions constitue une approche robuste, opérationnelle et scientifiquement fondée pour la mise en place de la DCE.*

La Directive cadre européenne sur l'eau (DCE) fixe comme objectif à tous les États membres d'atteindre à l'horizon 2015, pour tous les milieux aquatiques naturels, un « bon état écologique » défini comme un écart « léger » à une situation de référence, correspondant à des milieux non ou très faiblement impactés par l'homme (encadré 1, p. 4). L'état écologique se réfère « à la structure et au fonctionnement des écosystèmes aquatiques », mais son évaluation repose principalement sur la bioindication : les peuplements aquatiques sont « juges de paix », car les normes physicochimiques doivent être reliées à l'altération biologique.

L'une des principales innovations de la DCE est de faire référence au contexte géographique naturel : les conditions de référence, biologiques mais aussi physicochimiques et hydromorphologiques, doivent être établies par type de milieu. D'où l'importance d'une bonne typologie, qui pour répondre à la définition ci-dessus, doit refléter le fonctionnement naturel des écosystèmes et leur structure biologique. Cette remarque nous oriente vers le choix d'une typologie « fonctionnelle », c'est-à-dire basée sur les processus qui génèrent les différents types de milieux. Enfin, et ce point est essentiel, la typologie doit s'appuyer sur des éléments non modifiés par l'activité humaine, puisque l'objectif est de définir des ensembles de milieux qui, en situation non impactée, auraient les mêmes caractéristiques biologiques.

En pratique, la typologie doit être scientifiquement fondée, mais aussi robuste et opérationnelle car elle constitue le premier niveau de délimitation des « masses d'eau » qui sont les unités d'évaluation de l'état écologique. Cependant, du point de vue du gestionnaire, il serait intéressant qu'elle permette aussi un regroupement des cours d'eau en unités cohérentes de gestion.

Si la typologie reflète correctement le fonctionnement des milieux, des cours d'eau de même type devraient présenter une même sensibilité aux impacts anthropiques. Dans cette optique, une bonne correspondance entre la répartition géographique des types naturels et celle des différentes catégories d'activités humaines qui les affectent, permettrait de délimiter des ensembles de cours d'eau souffrant des mêmes « pathologies régionales », et relevant donc d'une même politique de restauration.

Toutefois, l'échelle de perception requise pour ces deux objectifs n'est pas la même. La définition des conditions de référence impose de coller au plus près de la réalité naturelle, ce qui requiert un certain niveau de précision. L'élaboration de politiques de gestion implique une vision plus large, permettant de choisir des grandes orientations s'appliquant à des territoires. Cette échelle « politique » est aussi celle de la communication avec le public qui requiert, à un niveau de synthèse approprié, une perception à la fois visuelle

## Les contacts

Cemagref, UR Biologie des écosystèmes aquatiques, 3 bis quai Chauveau, CP 220, 69366 Lyon Cedex 09

et territorialisée des problèmes : chacun cherche à appréhender ce qui localement le concerne.

Ces considérations dans lesquelles s'imbriquent des aspects scientifiques (refléter le fonctionnement écologique des milieux) et pratiques (opérationnalité et communication) nous ont orientés vers le choix d'un système à la fois *régionalisé* et *hiérarchisé*, c'est-à-dire constitué d'éléments géographiques emboîtés utilisables à plusieurs niveaux de précision selon les besoins.

### Choix d'une approche typologique

La DCE laisse le choix entre deux systèmes typologiques : un système A figé, basé sur des « écorégions » et des paramètres imposés avec des limites de classe prédéfinies, et un système B plus souple avec plusieurs paramètres optionnels. Les deux systèmes sont basés sur des caractéristiques abiotiques naturelles et requièrent *a minima*

une base géographique incluant la géologie et l'altitude, couplée à la taille du cours d'eau. Le cadre conceptuel du système A est valide, car la diversité naturelle des écosystèmes aquatiques dépend principalement de leurs caractéristiques géographiques et de leur dimension. Mais ce système n'est pas très pertinent pour deux raisons : d'une part, les « écorégions » proposées sont en fait des régions biogéographiques tirées de la distribution des insectes aquatiques (*Limnofauna Europea*), sans relation forte avec le fonctionnement de l'écosystème ; par exemple, il n'apparaît pas en France d'écorégion méditerranéenne, alors que le stress hydrique est une caractéristique structurelle fondamentale. D'autre part, la caractérisation géologique est insuffisante – les roches détritiques n'y apparaissent pas – et les limites arbitraires d'altitude aboutissent à morceler des ensembles géographiques homogènes. Pour ces raisons, une grande majorité de pays ont développé des typologies à partir du système B.

#### Encadré 1

##### Le contexte de la Directive cadre

Pour les eaux de surface, la Directive cadre européenne sur l'eau (DCE)<sup>1</sup> fixe pour objectif d'atteindre à l'horizon 2015 le « bon état » pour tous les milieux naturels, de préserver ceux qui sont en « très bon état », et d'atteindre le « bon potentiel » dans les milieux fortement artificialisés. Il s'y ajoute également un objectif non daté mais clairement affiché d'élimination des toxiques. *Mais le point essentiel est ici une obligation de résultat dans le délai imparti*, la directive fixant seulement un catalogue des mesures possibles dont la mise en œuvre reste sous la responsabilité des États membres.

Le bon état est défini d'après la situation la plus déclassante entre un **état chimique** se rapportant à des normes de concentration de substances dangereuses (toxiques), définies sur des *critères écotoxicologiques*, et un **état écologique** qui repose sur une évaluation de la « *structure et du fonctionnement des écosystèmes aquatiques* ». Il est défini à partir d'un ensemble d'éléments *biologiques* : les peuplements végétaux, invertébrés et poissons, et d'éléments *physicochimiques*, qui comprennent les paramètres généraux classiques et les micropolluants (métalliques et synthétiques) non inclus dans l'état chimique.

La mise en œuvre de la DCE implique clairement deux phases : d'abord un *diagnostic* général de l'état des milieux, qui devra préparer la mise en place d'un réseau de suivi, puis une phase de *restauration* des milieux qui n'atteignent pas le « bon état ». Les mesures à mettre en œuvre dans ce but seront détaillées dans le premier plan de gestion, prévu en 2009, mais qui devra être précédé d'une large consultation publique. Les deux phases sont évidemment liées, car *le diagnostic doit orienter les actions de restauration*.

Le calendrier est très serré, puisque la première caractérisation des districts (état des lieux) doit être réalisée en 2004 et actualisée en 2009, les réseaux doivent être opérationnels en 2006, le plan de gestion bouclé en 2009 pour aboutir, sauf dérogations, au bon état des milieux en 2015. Ensuite le processus se poursuit par des plans de gestion de 6 ans.

Site à consulter : <http://www.lyon.cemagref.fr/bea/lhq/DCE.shtml>. Voir également : Wasson, 2001.

1. Directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau. Adoptée le 22 décembre 2000.

Cependant, une approche régionalisée, intégrant sur une base spatiale les facteurs de contrôle du fonctionnement des écosystèmes aquatiques, offre de nombreux avantages : simplicité, robustesse et cohérence avec les pressions anthropiques. Pour ces raisons, nous avons développé en France une approche par « hydro-écorégions » (HER), spécifiquement dédiée à la typologie des eaux courantes.

Cette méthode est cohérente avec les exigences du système B de la DCE, dont elle intègre tous les facteurs obligatoires et bon nombre de paramètres optionnels ; les fondements de ce choix sont détaillés dans un rapport spécifique (Wasson *et al.*, 2001). Nous présentons ici le cadre conceptuel, la méthodologie, la carte des HER de France et les principes de la typologie. Les aspects géomatiques sont détaillés dans l'article de Pella *et al.* (2004).

Ces travaux ont été réalisés dans le cadre de conventions entre le Cemagref et la Direction de l'Eau du ministère de l'Environnement.

### Cadre conceptuel

La régionalisation diffère d'une simple typologie d'objets connus, obtenue par exemple par classification automatique de sites – suffisamment nombreux et bien répartis – sur lesquels on disposerait de toutes les données pertinentes. En effet, le but est de délimiter *a priori* des entités géographiques dans lesquelles les écosystèmes d'eau courante, sur lesquels on a peu de données, devraient présenter des caractéristiques communes. Il s'agit d'une approche descendante, liant le fonctionnement de l'écosystème aux caractéristiques géographiques du bassin et basée sur le concept de contrôle hiérarchique des écosystèmes. L'idée de base, exprimée par Lotspeich (1980), est qu'il vaut mieux « classifier des causes que des conséquences », et donc les facteurs de contrôle du fonctionnement physique et écologique des cours d'eaux, plutôt que leur résultante appréhendée par des données éparses au niveau local.

L'approche par écorégions a été adaptée aux écosystèmes aquatiques par Omernick (1987) afin de définir des objectifs régionaux pour la qualité et la gestion de l'eau (Hughes et Larsen, 1988 ; Warry et Hanau, 1993). Le cadre conceptuel, basé sur les idées de Hynes (1975) et Lotspeich (1980), a été sensiblement amélioré par les théo-

ries de contrôle hiérarchique des hydrosystèmes, et en particulier par l'emboîtement des structures physiques, contrôlé par des processus géomorphologiques du bassin jusqu'aux microhabitats, (Frissell *et al.*, 1986 ; Naiman *et al.*, 1992). Tous ces auteurs reconnaissent la géologie, le relief et le climat comme les déterminants primaires du fonctionnement des écosystèmes d'eau courante à l'échelle du bassin versant. Les hydro-écorégions sont délimitées sur la base de ces déterminants primaires (Wasson, 1996 ; Wasson *et al.*, 2002 a et b). Les hypothèses sous-jacentes sont :

- à l'intérieur d'une même hydro-écorégion, les cours d'eau présenteront des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques similaires, ainsi qu'un même gradient d'évolution amont-aval de ces paramètres ;

- les écosystèmes d'eau courante de différentes régions devraient se distinguer sur au moins un paramètre abiotique important, conduisant à des différences quantifiables au niveau des peuplements.

Ces hypothèses ont été assez largement vérifiées au préalable dans des contextes variés : aux USA (Hughes et Larsen, 1988 ; Warry et Hanau, 1993), dans le bassin de la Loire (Wasson, 1996 ; Souchon *et al.*, 2000), en Bolivie (Wasson *et al.*, 2002 b). Toutefois, l'homogénéité des types doit être appréciée en fonction de l'échelle de travail, et des variations locales sont évidemment toujours présentes.

### Méthodes

Les données de base sont des caractéristiques physiques naturelles : géologie, relief et climat. Cependant, leur validité et pertinence ont dû être soigneusement évaluées en comparant différentes sources d'information (Pella *et al.*, 2004). L'échelle commune des différentes couches est le 1/1 000 000<sup>e</sup>. La carte géologique a été interprétée selon la structure lithologique et les propriétés des roches (dureté, perméabilité, influence sur la chimie de l'eau). La densité du réseau hydrographique a été utilisée comme indicateur de perméabilité des roches. Un modèle numérique de terrain (MNT) au pas de 250 m a permis de caractériser l'altitude, la pente des versants et des vallées. Des cartes hydro-géologiques et géomorphologiques ont également été consultées. Les facteurs climatiques se réfèrent

2. L'ordination de Stralher consiste à attribuer le rang 1 aux tronçons situés en tête de bassin ; ensuite, en progressant vers l'aval, chaque confluence de deux tronçons de même rang entraîne l'augmentation d'une unité du rang du tronçon aval : la confluence de deux tronçons de rang 1 donne un rang 2, deux rangs 2 donnent un rang 3 et ainsi de suite. À titre d'exemple, la Loire à l'aval de la confluence avec l'Allier correspond à un rang 8.

aux précipitations (moyenne annuelle, variabilité saisonnière et pluies décennales...) et à la température (maximale de juillet), interprétées par rapport à la végétation naturelle et aux données bioclimatiques et hydrologiques (étages bioclimatiques, bilan hydrique).

Ces couches d'informations géographiques, homogènes à l'échelle de la France, ont été rassemblées dans un système d'information géographique (SIG). La délimitation des HER a été réalisée visuellement, en recherchant les discontinuités naturelles pour chacun des paramètres et les concordances régionales de leur distribution. Le principe de base a été de minimiser la variance intrarégionale et d'accentuer les différences interrégionales. La pertinence de la délimitation a été testée *a posteriori*, premièrement sur les paramètres géographiques utilisés pour la partition des HER, et deuxièmement en utilisant des données biologiques collectées sur des sites de référence (Wasson *et al.*, 2002 a).

Quelques points de méthodologie doivent être soulignés :

- l'approche « descendante » à partir des facteurs de contrôle permet de définir deux niveaux hiérarchiques. Le niveau 1 (HER-1) correspond aux grandes structures géophysiques et climatiques ; le niveau 2 (HER-2) correspond à des variations régionales à l'intérieur de ces types ;

- dans le processus de délimitation, le poids de chaque facteur dépend du contexte des autres. Par exemple, en climat méditerranéen, le stress hydrique est considéré comme le principal facteur de contrôle, alors que la géologie est moins importante ; dans les régions montagnardes, l'altitude et le climat sont étroitement liés et la structure du massif donne les limites régionales ; dans les zones de plaines en climat atlantique, la géologie et la perméabilité sont considérées comme des facteurs aussi importants l'un que l'autre ;

- la régionalisation s'appuie parfois sur des frontières naturelles évidentes, mais doit aussi traiter les gradients climatiques et géomorphologiques. Pour ces derniers, nous avons privilégié une régionalisation par entités géomorphologiques avec l'hypothèse d'une évolution longitudinale prévisible des cours d'eau dans ces massifs ;

- les cours d'eau intègrent rapidement l'hétérogénéité locale de leur bassin, ce qui constitue

un grand avantage pour leur régionalisation. Une telle hétérogénéité, par exemple dans la nature des roches (classes lithologiques), peut être considérée statistiquement comme une caractéristique des HER ;

- à l'évidence, les hypothèses de départ ne sont valides que pour des bassins de taille petite à moyenne situés dans une seule région (rivières « endogènes »). Pour les rivières de plus grande dimension traversant plusieurs régions (ou « exogènes »), la prévision de leurs caractéristiques doit être faite en considérant la proportion des différentes HER qui se trouvent dans leur bassin (*cf.* ci-dessous).

## Résultats : hydro-écorégions et typologie des cours d'eau

À l'échelle de l'Europe, la France est un pays géographiquement diversifié. Nous avons identifié au total 22 HER de niveau 1 pour la France métropolitaine (figure 1) ; l'extension aux départements d'outre-mer est en cours. Cependant, dix de ces HER-1 représentent 81 % de la surface totale du pays. Les principales particularités des HER-1 sont indiquées dans le tableau 1. Cette description qualitative se rapporte à des classifications détaillées selon les paramètres utilisés pour la délimitation des HER ; ainsi cette typologie sera facilement comparable aux systèmes utilisés par les autres États membres. Au niveau HER-2, 117 unités élémentaires présentant des caractéristiques géomorphologiques et climatiques très homogènes ont été délimitées (Wasson *et al.*, 2002 a).

Les HER-1 sont employées comme premier critère pour la typologie des eaux courantes. Le second critère est la taille des cours d'eau, évaluée par les rangs de Stralher<sup>2</sup>. Cette ordination simple et robuste présente l'avantage de s'appuyer sur les discontinuités naturelles du réseau hydrographique, chaque changement de rang correspondant à une augmentation brusque des différents paramètres liés à la dimension du cours d'eau (largeur, profondeur, débit), la pente étant généralement inversement corrélée au rang. Au final, pour la typologie nationale, 5 classes de taille ont été utilisées ; au niveau des bassins, une classe de taille est attribuée à chaque tronçon de cours d'eau en fonction de son rang, avec des ajustements locaux notamment pour les systèmes karstiques.



◀ Figure 1 – Carte des hydro-écorégions de niveau 1 pour la France métropolitaine (tableau 1).

ID	HER-1	Relief	Géologie	Climat
1	PYRÉNÉES	Hautes Montagnes	Granite/roches métamorphiques	Montagnard humide
2	ALPES INTERNES	Hautes Montagnes	Granite/roches métamorphiques	Montagnard humide, froid
4	VOSGES	Montagnes	Granite/roches métamorphiques	Montagnard humide
3	MASSIF-CENTRAL SUD	Montagnes	Granite/roches métamorphiques	Montagnard humide
21	MASSIF-CENTRAL NORD	Montagnes	Granite/roches métamorphiques	Océanique tempéré
5	JURA-PRÉALPES DU NORD	Montagnes	Calcaire/roches sédimentaires	Montagnard humide
22	ARDENNES	Relief peu marqué	Granite/roches métamorphiques	Océanique tempéré
12	ARMORICAIN	Plaines	Granite/roches métamorphiques	Océanique tempéré
10	CÔTES CALCAIRES EST	Relief peu marqué	Calcaire/roches sédimentaires	Océanique tempéré
9	TABLES CALCAIRES	Plaines	Calcaire/roches sédimentaires	Océanique tempéré
11	CAUSSES AQUITAINS	Relief peu marqué	Calcaire/roches sédimentaires	Océanique méridional
14	CÔTEAUX AQUITAINS	Relief peu marqué	Détritique	Océanique méridional
20	DÉPÔTS ARGILO-SABLEUX	Plaines	Détritique	Océanique tempéré
18	ALSACE	Plaines	Détritique	Océanique continental
13	LANDES	Plaines	Détritique	Océanique méridional
15	PLAINE SAÔNE	Plaines	Détritique	Océanique méridional
17	DÉPRESSIONS SÉDIMENTAIRES	Plaines	Détritique	Océanique méridional
6	MÉDITERRANÉEN	Relief peu marqué	Hétérogène	Méditerranéen
8	CÉVENNES	Montagnes	Granite/roches métamorphiques	Méditerranéen
16	CORSE	Montagnes	Granite/roches métamorphiques	Méditerranéen
19	GRANDS CAUSSES	Montagnes	Calcaire/roches sédimentaires	Sud-Méditerranéen
7	PRÉALPES DU SUD	Montagnes	Calcaire/roches sédimentaires	Sud-Méditerranéen

▲ Tableau 1 – Caractéristiques de base des hydro-écorégions de niveau 1.

La typologie de base, qui a servi à la première délimitation des masses d'eau naturelles, correspond donc au croisement {HER-1 x classe de taille}. Cependant, il faut également tenir compte de l'influence des bassins amont pour les cours d'eaux « exogènes ». Par exemple, dans la grande région des « Tables calcaires » (figure 1), les rivières provenant du Massif-Central auront des caractéristiques différentes de celles qui prennent naissance dans la région calcaire. Cette influence amont a été évaluée à partir de des caractéristiques hydrologiques et chimiques (module annuel et teneur en calcium). Des sous-types exogènes ont ainsi été définis à partir d'une méthodologie homogène sur l'ensemble du territoire.

Le niveau HER-2 est utilisé dans certains bassins, en fonction d'une expertise locale, pour préciser la typologie. Il sert également de base de stratification statistique pour vérifier l'homogénéité des conditions de référence à l'intérieur des HER-1, et dans certains cas la typologie nationale a été ajustée au niveau HER-2 pour tenir compte de variations significatives de certains éléments biologiques.

Cette base typologique a été adoptée au niveau national, avec dans certains bassins un niveau de précision supplémentaire ; une codification nationale est en cours de validation, chaque type défini au niveau d'un bassin se rapportant ainsi de manière univoque à un type national. Des simplifications pourront être apportées ultérieurement par regroupement des types qui présentent pour tous les paramètres des conditions de référence similaires.

Enfin, pour les lacs, les HER sont également utilisées comme premier critère typologique décrivant la géologie et l'altitude, complété par les paramètres morphométriques.

### Validation des résultats

Une première validation a été réalisée en analysant une base de données d'invertébrés benthiques provenant de 76 sites de référence répartis sur 10 HER-1. Dans l'ensemble, on observe une bonne correspondance entre les hydro-écorégions et la faune d'invertébrés.

L'effet « écorégion » est de loin le plus important pour expliquer la structure biotique, mais d'autres facteurs comme le rang et la saison devront être pris en compte. La typologie par HER a aussi été comparée à des classifications hiérarchiques effectuées directement sur la faune, et le pouvoir de discrimination des deux approches s'avère sensiblement équivalent (Wasson *et al.*, 2002 a). Enfin, la distribution régionale de la faune induit des variations significatives des valeurs de référence de l'indice IBGN utilisé pour évaluer l'état écologique des cours d'eau, et les valeurs de référence de cet indice ont été calculées pour la plupart des types. Les peuplements de diatomées présentent également une distribution liée aux hydro-écorégions, et l'adaptation des indices correspondants est en cours.

### Conclusion

L'approche par hydro-écorégion, complétée par 5 classes de taille basées sur l'ordination du réseau hydrographique, a permis de proposer rapidement une typologie simple et robuste, adoptée au niveau national et déclinée avec des ajustements locaux dans tous les bassins. Cette typologie s'avère pertinente pour définir des conditions biologiques de référence des eaux courantes.

Les précédentes applications de la méthodologie au bassin de la Loire, et les travaux en cours à l'échelle nationale ont montré une bonne concordance entre les HER et la spatialisation des pressions anthropiques. Cette concordance ouvre des perspectives intéressantes pour la définition d'unités spatiales de gestion, par la mise en évidence de « problématiques régionales » pour la restauration des milieux. La transcription cartographique de ces problèmes facilitera la communication avec les décideurs et le public.

Des modèles « pressions/impacts » cherchant à mettre en évidence les causes d'altération des peuplements aquatiques sont en cours de développement à l'échelle des HER. Ces modèles régionalisés constitueront des outils opérationnels pour orienter les actions de restauration en vue d'atteindre le bon état écologique requis par la DCE. □

## Remerciements

Ce travail a bénéficié du soutien financier du ministère de l'Écologie et du Développement durable (MEDD – Direction de l'Eau). Il s'inscrit dans un programme de la Zone Atelier Bassin du Rhône (ZABR). Nous remercions Béatrice Dutang du GIE VALOREZ pour son aide à la préparation du manuscrit.

## Résumé

La mise en œuvre de la Directive cadre requiert une typologie préalable des écosystèmes aquatiques, sur des bases géographiques. L'approche proposée par « hydro-écorégions » (HER) repose sur le concept de contrôle hiérarchique des écosystèmes. Les déterminants primaires du fonctionnement écologique des cours d'eaux sont la géologie, le relief et le climat. La cartographie de ces facteurs permet de définir en France métropolitaine 22 HER de premier niveau. Cette régionalisation couplée à l'ordination du réseau fournit un cadre typologique national pour les cours d'eau. Les concepts, la méthodologie et la carte des HER sont présentés.

## Abstract

The implementation of the Water Framework Directive requires a previous typology of aquatic ecosystems based on geographical features. The proposed « Hydro-ecoregion » (HER) approach relies upon the ecosystem hierarchical control concept. Primary determinants of aquatic ecosystems functioning are geology, relief and climate. The cartography of these factors enables the delimitation of 22 first level HER in France. This regionalisation coupled with an ordination of the hydrographic network gives the template for the running waters typology. The concepts, methodology and the HER map are presented.

## Bibliographie

FRISSELL, C.-A. ; LISS W.-J ; WARREN, C.-E. ; HURLEY, M.D., 1986, A hierarchical framework for stream habitat classification: viewing streams in a watershed context, *Environmental Management*, 10, p. 199-214.

HUGHES, R.-M. ; LARSEN, D.-P., 1988, Ecoregions: an approach to surface water protection, *Journal of Water Pollution Control Federation*, 60(4), p. 486-493.

HYNES, H.-B.-N., 1975, The stream and its valley, *Ver. Internat. Verein. Limnol.*, 19, p. 1-15.

LOTSPEICH, F.-B., 1980, Watersheds as the basic ecosystem: this conceptual framework provides a basis for a natural classification system, *Water Resources Bulletin*, 16(4), p. 581-586.

NAIMAN, R.-J. ; LONZARICH, D.-G. ; BEECHIE, T.-J. ; RALPH, S.-C., 1992, General principles of classification and the assessment of conservation potential in rivers, in Boon P., Calow P. & Petts G. (eds.), *Rivers Conservation and Management*, Wiley & Sons Chichester UK, p. 93-123.

OMERNICK, J.-M., 1987, Ecoregions of the conterminous United States, *Annals of the Association of American Geographers*, 77(1), p. 118-125.

PELLA, H. ; CHANDESRESIS, A. ; WASSON, J.-G., 2004, Constitution d'un système d'information à référence spatiale dans le contexte de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau, *Ingénieries-EAT*, n° 40, p. 11-20.

SOUCHON, Y. ; ANDRIAMAHEFA, H. ; COHEN, P. ; BREIL, P. ; PELLA, H. ; LAMOUREUX, N. ; MALAVOI, J.-R. ; WASSON, J.-G., 2000, *Régionalisation de l'habitat aquatique dans le bassin de la Loire*, Agence de l'eau Loire Bretagne, Cemagref Lyon BEA/LHQ, 291 p.

WARRY, N.-D. ; ANAU, M., 1993, The use of terrestrial ecoregions as a regional-scale screen for selecting representative reference sites for water quality monitoring, *Environmental Management*, 17(2), p. 267-276.

WASSON, J.-G., 1996, Structures régionales du bassin de la Loire, *La Houille Blanche*, 6/7, p. 25-31.

WASSON, J.-G., 2001, Les questions de recherche posées par la Directive Cadre Européenne sur l'Eau : problématique pour les eaux de surface continentales, *Hydroecol. Appl.*, 13 (1), p. 1-19.

WASSON, J.-G. ; CHANDESRI, A. ; PELLA, H. ; SOUCHON, Y., 2001, *Définition des hydroécorégions françaises. Méthodologie de détermination des conditions de référence au sens de la Directive cadre pour la gestion des eaux*, rapport Cemagref Lyon BEA/LHQ et MATE/DE, 68 p.

WASSON, J.-G ; CHANDESRI, A. ; PELLA, H., 2002a, *Définition des hydro-écorsions de France métropolitaine. Approche régionale de typologie des eaux courantes et éléments pour la définition des peuplements de référence d'invertébrés*, rapport Cemagref Lyon BEA/LHQ et MATE/DE, 190 p.

WASSON, J.-G. ; BARRERA, S. ; BARRÈRE, B. ; BINET, D. ; COLLOMB, D. ; GONZALES, I. ; GOURDIN, F. ; GUYOT, J.-L. ; ROCA BADO, G., 2002b, Hydro-ecoregions of the Bolivian Amazon Basin – the geographical frame of running water ecosystems functioning, in McClain M.E. (ed.), *Ecohydrology of South American Rivers and Wetlands*, IASH special publication, n° 6, chap. 5, p. 69-91.