



Titre : Appui scientifique à la mise en œuvre de la Directive Européenne Cadre sur l'Eau. Typologie des cours d'eau de France métropolitaine

Auteurs : Jean-Gabriel WASSON, André CHANDESRIS, Hervé PELLA, Eric SAUQUET, Nicolas MENGIN

Résumé : En application de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau (DCE), une typologie des cours d'eau fondée sur une régionalisation des écosystèmes aquatiques et sur la taille des rivières a été réalisée. Elle a été construite à partir de données géographiques rassemblées dans un système d'information géographique (SIG).

Les hydro-écorégions, cadre régional de la typologie, ont été définies sur la base de la géologie, du relief et du climat, considérés comme les déterminants primaires du fonctionnement écologique des eaux courantes.

La dimension longitudinale est traduite en 5 classes de taille des cours d'eau, basées sur l'ordination en rangs de Strahler de l'ensemble du réseau hydrographique. Une analyse de la relation entre rang et superficie du bassin versant a permis de préciser le champ de validité de cette donnée.

L'influence des hydro-écorégions de l'amont a été évaluée au travers des variables hydrologiques (débit naturel reconstitué) et hydro-chimiques (teneur en Calcium) pour définir des types de masses d'eau « exogènes » influencées par leur bassin amont.

Le cadre typologique proposé, conforme aux exigences de la DCE, prend en compte l'ensemble des facteurs structurant à large échelle les communautés biologiques aquatiques.

Mots-clés : Eaux courantes, typologie, référence, Hydro-écorégions, invertébrés benthiques, Directive Cadre Européenne sur l'Eau, hydrologie

Keyboards: Streams, rivers, typology, reference, Hydro-ecoregion, benthic invertebrates, Water Framework Directive, hydrology

CONVENTION	PROGRAMME DE RECHERCHE	DATE	DIFFUSION
N° CV 03000102 Signée le 7 août 2003	HYDRECO (LHQ)	Mars 2006	tous publics <input checked="" type="checkbox"/> interne <input type="checkbox"/> confidentielle <input type="checkbox"/>

Table des matières

Préambule	5
Introduction	7
1. Classes de taille des cours d'eau	11
1.1. LES PARAMETRES DISPONIBLES.....	11
1.2. RANGS DE STRAHLER : BILAN DES DONNEES DISPONIBLES.....	13
1.3. ANALYSE DE LA RELATION SURFACE DE BASSIN VERSANT - RANGS DE STRAHLER	14
1.3.1. <i>Surface des bassins versants des Zones Hydrographiques</i>	14
1.3.2. <i>Relations Bassins versants - rangs de Strahler</i>	16
1.4. CONCLUSION - PROPOSITIONS DE METHODE DE DEFINITION DE CLASSES DE TAILLE.....	19
2. « Héritages amont » : influence des caractéristiques du bassin versant	21
2.1. PROBLEMATIQUE	21
2.2. INFLUENCES AMONT SUR L'HYDROCHIMIE.....	21
2.2.1. <i>Les données utilisées</i>	21
2.2.2. <i>Caractérisation hydro-chimique des hydro-écorégions</i>	22
2.2.3. <i>Relations amont-aval exprimées par la concentration en ions calcium</i>	25
2.2.4. <i>Outil d'aide à la décision – seuils de cours d'eau « exogènes »</i>	29
2.3. INFLUENCES AMONT SUR L'HYDROLOGIE.....	30
2.3.1. <i>Données utilisées</i>	30
2.3.2. <i>Caractérisation hydrologique des hydro-écorégions</i>	31
2.3.3. <i>Evolution longitudinale de l'influence hydrologique</i>	34
2.3.4. <i>Approche régionale par seuils de variation de débits</i>	35
2.4. INTEGRATION DES RELATIONS AMONT-AVAL DANS LA TYPOLOGIE	38
3. Synthèse	39
3.1. CADRE PHYSIQUE GENERAL DE LA TYPOLOGIE DES MASSES D'EAU.....	39
3.2. INTEGRATION DE L'INFORMATION « BIOLOGIQUE »	39
3.3. RESULTAT FINAL.....	40
3.4. LES TYPES « MAJEURS ».....	42
4. Conclusion	45
Références bibliographiques	47
Annexes	45

Table des illustrations

Figures

Figure 1 - Carte des hydro-écorégions de France métropolitaine (Wasson et al., 2002)	8
Figure 2 – Méthode d'ordination des curs d'eau selon Strahler	13
Figure 3 - Carte du réseau hydrographique ordonné selon méthode de Strahler.....	13
Figure 5 - Répartition des surfaces de bassins versants en fonction des rangs de Strahler (Quantiles de distribution, largeur proportionnelle à l'effectif).....	16
Figure 8 - Schéma de principe du calcul de flux d'ions calcium.....	25
Figure 9 - Modèle d'évolution de la concentration de calcium en fonction de la proportion en surface de l'HER aval (HER calcaire) sur quatre rivières	26
Figure 10 - Situation des stations du RNDE sur les cours d'eau exogènes.....	27
Figure 11 - Régressions linéaires des relations : $Ca^{**} = f(\%BV \text{ en HER calcaire})$	28
Figure 15 - Schéma de principe de relation amont-aval pour les débits	33
Figure 17 - Carte des cours d'eau « exogènes » influencés par l'hydrologie des cours d'eau des hydro-écorégions amont, selon une approche basée sur la médiane régionale des débits spécifiques ..	38
Figure 18 - Représentation cartographique des types régionaux et de la relation « amont-aval » sur la base du réseau « drain principal » développé par le CEMAGREF.	41

Tableaux

Tableau 1 - Proportion et linéaire des arcs « non codifiés » dans les différentes Agences de l'Eau.....	14
Tableau 2 - Distribution en percentile des surfaces des « zones hydrographiques » par bassins.....	15
Tableau 3 - Répartition des surfaces de bassins versants en fonction des rangs de Strahler.....	16
Tableau 4 - Répartition des médianes de surface de bassins versants amont de zones hydrographiques en fonction du rang de Strahler et des Bassins.....	17
Tableau 5 - Répartition des surfaces médianes de bassins versants aux exutoires des zones hydrographiques pour les HER n° 3 et 21 (Massif Central) par rangs de Strahler et Bassins.	18
Tableau 6 - Répartition des bassins versants aux exutoires des zones hydrographiques pour l'HER n° 9 (Tables calcaires) par rangs de Strahler et Bassins.	18
Tableau 7 - Correspondances largeurs et débit moyen annuel selon les classes de taille.....	20
Tableau 8 - Répartition des concentrations médianes en calcium des stations par HER (mg/l).....	24
Tableau 9 - Répartition des débits spécifiques des zones hydro par HER.....	32
Tableau 10 - Comparaison des débits amont-aval entre hydro-écorégions	33
Tableau 11 - Bassins versants relatifs des hydro-écorégions amont-aval par seuils d'impact	37
Tableau 12 - Tableau récapitulatif des types de masses d'eau avec proposition de codage	43
Tableau 13 - Tableau des types « majeurs » de masses d'eau sélectionnés sur la longueur de cours d'eau.....	44

Préambule

Ce présent rapport s'intègre dans la réalisation de la convention pluriannuelle d'objectifs n° CV 03000102 passée entre le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable et le CEMAGREF pour la période 2003-2005, et concerne le thème « Connaissances et développements pour la mise en œuvre de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau » ou DCE (2000/60/CE).

Ce thème comprend notamment un domaine de recherche intitulé « Caractérisation et typologie des masses d'eau ; définition des conditions de référence et du bon état écologique ».

Ce point a fait l'objet, dans le cadre de la présente convention et de conventions antérieures CEMAGREF – MEDD (2001 – 2002), des réalisations suivantes :

- Rapport « Définitions des hydro-écorégions françaises - Méthodologie de détermination des conditions de référence au sens de la Directive Cadre pour la gestion des Eaux » (Wasson *et al.*, 2001) ;
- Rapport « Définition des hydro-écorégions françaises métropolitaines – Approche régionale de la typologie des eaux courantes et éléments pour la définition des peuplements de référence d'invertébrés » (Wasson *et al.*, 2002) ;
- Plusieurs notes techniques sur l'élaboration conceptuelle et technique de la typologie, issues des discussions du groupe national DCE - Eaux de Surface Continentales (DCE/ESC) produites en 2003 et 2004 ;
- Enfin, la constitution et l'exploitation d'une base de données nationale des résultats de prélèvements d'invertébrés pour la définition des conditions de référence, et du bon état écologique ont été menées en parallèle.

Le présent rapport constitue la synthèse d'une démarche progressive menée en interaction avec le groupe DCE/ESC animé par le MEDD, permettant de finaliser la typologie basée sur les hydro-écorégions, cadre spatial de la mise en œuvre de la DCE.

Introduction

La mise en application de la DCE implique, en première phase, de délimiter des unités élémentaires d'évaluation de l'état écologique, des **tronçons de cours d'eaux** ou « masses d'eau », qui sont chacune affectée à un « type » auquel doivent correspondre des conditions de référence.

Deux systèmes de classification sont envisageables pour permettre aux Etats membres de construire une typologie de masses d'eau courante superficielles (cf. annexe 1) :

- un système A, figé, reposant sur des classes aux limites définies *a priori* pour la surface du bassin versant, l'altitude, la géologie, dans le cadre des « écorégions » tirées des travaux d'Illies (1978) sur la biogéographie des invertébrés aquatiques ;
- un système B, ouvert, reposant sur des critères « obligatoires » identiques à ceux du système A, et toute une gamme de paramètres facultatifs complémentaires.

Les deux systèmes s'appuient obligatoirement sur une base spatialisée couplée à une dimension du bassin, puisque parmi les paramètres obligatoires du système B on retrouve les coordonnées géographiques, l'altitude et la géologie.

L'intérêt du « système B » est de permettre une adaptation de la typologie à la réalité du terrain, et aux bases de connaissances disponibles au niveau de l'Etat membre, en particulier, les informations biologiques.

Le choix du « système B » a été analysé dans le premier rapport du **Cemagref**, (Wasson *et al.*, 2001), proposant une approche par Hydro-écorégions (HER) sur la base de l'expérience acquise dans le bassin de la Loire (cf. encadré)

Rappel Principes de définition des hydro-écorégions (Wasson *et al.*, 2002)

La démarche est basée sur une approche descendante dont le principe de base consiste à utiliser pour la classification les facteurs de contrôle globaux plutôt que leurs conséquences au niveau local. A l'échelle du bassin, les déterminants primaires universellement reconnus du fonctionnement écologique des cours d'eau sont la géologie, le relief et le climat. Ce concept s'inspire des théories de contrôle hiérarchique des hydrosystèmes, et repose particulièrement sur l'emboîtement des échelles physiques, du bassin jusqu'au micro-habitat.

On peut résumer comme suit l'enchaînement hiérarchique des facteurs qui déterminent le fonctionnement écologique des cours d'eau (fig. 2) : à l'échelle locale, dans le milieu aquatique, la biodiversité et la productivité des communautés vivantes répondent aux « facteurs-clés » que sont l'habitat physique (hydraulique, substrat), le climat aquatique (lumière, température, gaz dissous, hydrochimie), et les ressources trophiques (production primaire endogène et matière organique exogène) ; toutefois l'influence de l'habitat sur des paramètres essentiels (oxygénation, ressources trophiques) conduit à assigner un rôle prépondérant aux facteurs physiques. A l'échelle du tronçon, la dynamique spatio-temporelle des facteurs-clés dépend du régime hydro-

sédimentologique et de la géomorphologie de la vallée ; ces « facteurs de contrôle » définissent la morpho-dynamique fluviale (forme et stabilité du lit), la structure de la végétation rivulaire (qui influe significativement sur le milieu aquatique), et la connectivité du cours d'eau (interactions avec la zone inondable). Finalement, à l'échelle régionale, ces facteurs dépendent de « déterminants primaires » que sont la géologie (nature des roches), le relief (géomorphologie) et le climat (températures et précipitations). Les sols et la végétation du bassin interviennent évidemment dans le bilan hydrique et sédimentologique, mais ils sont en dernier ressort déterminés par les caractéristiques géophysiques et climatiques.

Ce cadre conceptuel justifie une régionalisation des écosystèmes d'eau courante à partir des déterminants primaires géophysiques et climatiques, qui permettent de délimiter des « hydro-écorégions ». Les hypothèses de base sont les suivantes : 1) à l'intérieur d'une même région les cours d'eau présenteront des caractéristiques physiques et biologiques similaires et un même gradient d'évolution longitudinale, et 2) les écosystèmes d'eau courante de différentes régions devraient se distinguer sur au moins un paramètre abiotique important, conduisant à des différences significatives et quantifiables au niveau des peuplements. Ceci devrait permettre de définir un nombre limité de types d'écosystèmes dans chaque région.

Sur ce principe, 22 hydro-écorégions ont été définies pour la France métropolitaine (Wasson *et al.*, 2002), constituant la première phase de l'élaboration de la typologie.

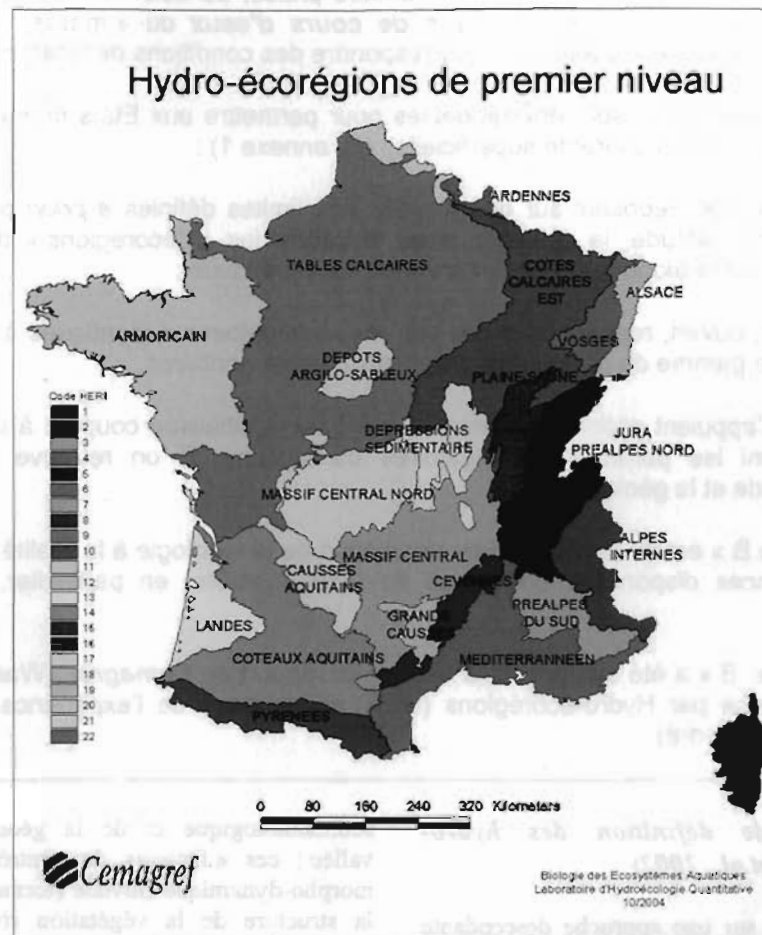


Figure 1 - Carte des hydro-écorégions de France métropolitaine (Wasson *et al.*, 2002)

Principes de la typologie

Les objets à répartir en types sont donc des tronçons de cours d'eaux, et ces types doivent être suffisamment homogènes pour que l'on puisse raisonnablement affecter à tous les éléments d'un même type les mêmes conditions de référence, notamment en termes de peuplements biologiques. Cette typologie constitue donc le point de départ du découpage en « masses d'eau » naturelles. Elle repose sur la prise en compte des éléments suivants.

1 – Cadre régional

Les **Hydro-écorégions**, expression synthétique des facteurs déterminant la physico-chimie de l'eau, les régimes hydrologiques et sédimentaires, la morphologie du lit et sa dynamique, l'environnement végétal, permettent de délimiter une première « enveloppe de variabilité » des facteurs-clés à l'échelle des tronçons. Ces HER constituent donc le premier niveau de différenciation de la typologie.

2 – Taille des cours d'eau

Le cadre des hydro-écorégions étant défini, la seconde caractéristique à prendre en compte est évidemment la **taille des cours d'eau**, paramètre logiquement obligatoire dans la DCE, dans la mesure où il conditionne très largement la structure physique et le fonctionnement écologique. Il n'est pas nécessaire de revenir longuement sur l'importance évidente de cette *dimension longitudinale*, qui a fait l'objet depuis plus d'un siècle de très nombreux travaux aboutissant à proposer des zonations (Huet, 1949, Illies & Botosaneanu, 1963), ou des typologies longitudinales plus ou moins fonctionnelles (Verneaux, 1976, Vannote *et al.*, 1980 ; cf. revue de Wasson, 1989).

3- « Héritages amont » : influence des caractéristiques du Bassin Versant

Les travaux antérieurs sur la régionalisation du bassin de la Loire, rappelés dans le rapport de phase 1 (Wasson *et al.* 2001), ainsi que les premiers tests de distribution des peuplements de référence d'invertébrés (Wasson *et al.* 2002) et de diatomées (Tison *et al.* 2005), ont montré que le fonctionnement physique et les structures de peuplements aquatiques semblent répondre assez bien aux HER pour les tronçons de cours d'eau « endogènes » et de même taille. On entend par « **endogènes** » des cours d'eau dont la totalité du bassin versant se situe dans une même HER. Nous les opposerons aux tronçons de cours d'eaux « **exogènes** », dont une part significative du bassin amont se situe dans une ou plusieurs HERs différentes.

Dans une HER donnée, les tronçons « exogènes » peuvent être sensiblement influencés par les *caractéristiques héritées des HERs du bassin amont*, notamment en ce qui concerne la physico-chimie de l'eau, le régime hydrologique, la nature des sédiments transportés, et donc la dynamique fluviale. En conséquence, le fonctionnement physique et les structures écologiques des tronçons « exogènes » peuvent être sensiblement différents de ceux des tronçons « endogènes » de même taille. Il est donc indispensable de prendre en compte l'influence des Hydro-écorégions amont sur les cours d'eau situés dans l'HER aval, en différenciant des types « endogènes » et « exogènes ».

4 – Variabilité biologique régionale résiduelle

Enfin, le découpage en HER étant réalisé *a priori* avec une maille assez large pour ne pas multiplier le nombre de types, il est possible qu'une variabilité intra-HER résiduelle, qui se traduit de manière visible dans la structure des peuplements aquatiques, soit encore identifiable au niveau de certaines HER de niveau 2, aux caractéristiques particulières. Dans ce cas, pour coller au plus près de la réalité biologique, il peut s'avérer utile de distinguer dans certaines HER-1 des types au niveau des HER-2.

Le présent rapport étudie ces éléments et propose des méthodes simples pour les prendre en compte dans une typologie opérationnelle et conforme à la DCE.

4. Conclusion

L'élaboration de la typologie des masses d'eau courantes s'intègre dans un cadre régionalisé, basé sur les Hydro-écorégions.

Cette régionalisation est complétée par une classification en 5 catégories de la taille de cours d'eau, s'appuyant sur l'ordination en rangs de Strahler. La prise en compte de l'influence amont sur les caractéristiques hydro-chimiques et hydrologiques, ainsi que d'une variabilité régionale résiduelle révélée par les données biologiques, aboutit à une typologie déclinée en 124 types. Mais 51 types majeurs représentent 90% du linéaire des cours d'eau.

Cette typologie est conforme aux exigences de la Directive Cadre sur l'Eau, car elle reprend tous les éléments obligatoires visés à l'annexe II, et aboutit à une discrimination des types plus détaillée et nettement plus adaptée au terrain que celle du « système A » proposé par défaut.

La typologie a été construite, dans les délais requis, à partir des données disponibles tant géographiques que biologiques. Les nouvelles informations sur les peuplements aquatiques (invertébrés, poissons, diatomées, macrophytes), en cours d'acquisition sur le réseau de référence mis en place en 2005, devraient permettre de procéder ultérieurement à des ajustements dans un sens de simplification, tout en assurant la meilleure adéquation possible à la réalité du fonctionnement écologique et aux contraintes opérationnelles.

La mise en oeuvre de ce cadre typologique dans les Districts sera probablement aussi l'occasion d'un retour d'expérience permettant de procéder à des ajustements en fonction de la réalité de terrain.

Le cadre ainsi construit devient un outil opérationnel, permettant non seulement de répondre aux exigences de la DCE, mais aussi d'analyser dans un cadre géographique cohérent les mécanismes fins de dégradation des écosystèmes aquatiques, pour proposer des actions de restauration adaptées à l'échelle des districts.