

---

**ÉTUDE DE LA TYPOLOGIE DES COURS D'EAU ALSACIENS :  
EXPERTISE SCIENTIFIQUE ET CONSOLIDATION DES ACQUIS**

**RAPPORT DE SYNTHÈSE**

**Octobre 2001**

---

**Laurent SCHMITT**

**CEREG ULP-CNRS (Fre 2399)  
Centre d'études et de recherche éco-géographiques  
3, rue de l'Argonne  
67083 Strasbourg cedex**

**SOMMAIRE**

<b>SOMMAIRE</b> .....	<b>3</b>
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	<b>4</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	<b>4</b>
<b>1. INTRODUCTION</b> .....	<b>5</b>
<b>2. ELABORATION DE LA TYPOLOGIE CEREG</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1. APPROCHE STATISTIQUE</b> .....	<b>6</b>
<b>2.1.1. Méthodologie</b> .....	<b>6</b>
<b>2.1.2. Résultats</b> .....	<b>8</b>
2.1.2.1. Tendances <b>hiérarchiques</b> des variables hydro-géomorphologiques .....	<b>8</b>
2.1.2.2. M è r e <b>régionalisation</b> hydro-géomorphologique des <b>rivières</b> alsaciennes .....	<b>9</b>
2.1.2.3. Spécification de la <b>première régionalisation</b> hydro-géomorphologique .....	<b>9</b>
2.1.2.3.1. Typologie des <b>rivières des Vosges cristallines</b> .....	<b>9</b>
2.1.2.3.2. Typologie des <b>rivières des Vosges présenses</b> et de la terrasse <b>pliocène</b> de la <b>Forêt de</b> .....	<b>10</b>
2.1.2.3.3. <b>Distinction</b> entre les <b>rivières alluviales des Vosges gréseuses</b> et les <b>rivières alluviales</b> <b>originaires des Vosges gréseuses, parcourant</b> les collines <b>mamo-caid</b> et loessiques .....	<b>10</b>
2.1.2.3.4. Typologie des cours d'eau des <b>collines et plateaux marno-calcaires</b> et loessiques .....	<b>11</b>
2.1.2.3.5. Typologie des <b>rivières de la plaine rhénane</b> .....	<b>11</b>
<b>Elaboration de la typologie</b> .....	<b>11</b>
<b>La plaine rhénane : un espace hydro-géomorphologique hétérogène</b> .....	<b>12</b>
2.1.2.4. Typologie <b>résultante</b> de l'ensemble de la zone d'étude .....	<b>13</b>
<b>2.2. Du SITE AU LIGNÉAIRE FLUVIATILE POUR OBTENIR LA TYPOLOGIE FINALE</b> .....	<b>13</b>
<b>2.2.1. Approche fondée sur la spatialisation de la puissance spécifique - l'exemple de l'Eberbach</b> .....	<b>13</b>
<b>2.2.2. Approche fondée sur l'analyse des p<sub>0</sub> en long des corridors fluviaux</b> .....	<b>14</b>
<b>2.2.3. Comparaison des deux méthodes de sectorisation</b> .....	<b>14</b>
<b>3. EVALUATION SCIENTIFIQUE DE LA TYPOLOGIE DE L'AGENCE</b> .....	<b>22</b>
<b>3.1. EVALUATION DE LA TYPOLOGIE DES RIVIÈRES DE LA PLAINE RHÉNANE</b> .....	<b>22</b>
<b>3.1.1. Appréciation d'ensemble</b> .....	<b>22</b>
<b>3.1.2. Points particuliers</b> .....	<b>22</b>
<b>3.2. EVALUATION DE LA TYPOLOGIE DES RIVIÈRES DE L'ENSEMBLE DE LA ZONE D'ÉTUDE, HORMIS</b> <b>CELLES DE LA PLAWA</b> .....	<b>25</b>
<b>3.2.1. Appréciation d'ensemble</b> .....	<b>25</b>
<b>3.2.2. Les Vosges cristallines</b> .....	<b>25</b>
<b>3.2.3. Les Vosges gréseuses</b> .....	<b>26</b>
<b>3.2.4. Les collines et plateaux marno-calcaires et loessiques</b> .....	<b>27</b>
<b>4. CONCLUSION ET PROPOSITION D'AXES D'AMÉLIORATION DE LA TYPOLOGIE</b> <b>DE L'AGENCE</b> .....	<b>30</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE</b> .....	<b>32</b>

**LISTE DES FIGURES**

Figure 1 : Carte de localisation **des** rivières sélectionnées et **des** 187 sites de mesure..... 7

Figure 2 : Dendrogramme de la Classification Ascendante Hiérarchique des **25** variables quantitatives prises en compte pour l'analyse des données..... 8

Figure 3 : Sectorisation de l'Eberbach fondée sur le gradient longitudinal de la puissance spécifique. Méthode **adaptée** d'après Bemot et al. (1996) et Bemot et **Creuzé** des Chatelliers (1998) .....15

Figure 4 : Sectorisation de la Bruche d'après le profil en long de son corridor fluvial, les changements vers l'aval de la morphologie du fond de vallée et les types d'unités naturelles parcourus. ....16

Figure 5 : Carte de la typologie **CEREG** de l'ensemble de la zone d'étude. .... 19

**LISTE DES TABLEAUX**

Tableau 1 : Correspondance entre la hiérarchie de variables définie à partir de la **CAH** des variables et de l'AB et celle définie à partir de l'ACM. .... 8

Tableau 2 : **Caractéristiques** hydro-géomorphologiques des types et sous-types de rivières de la zone d'étude. .... 17

Tableau 3 : Dénomination des **types** de cours d'eau et légende explicite de la figure 4 ..... 21

Tableau 4 : Comparaison de la classification des sites de mesures **dans** les divers types de rivières de la plaine rhénane des deux systèmes respectifs de l'Agence et du **CEREG**. .... 24

Tableau 5 : Comparaison de la variabilité des classes de rivières de la typologie du **CEREG** et de celle de l'Agence **dans** la plaine rhénane..... 24

Tableau 6 : Comparaison de la classification des sites de mesure **dans** les typologies de l'Agence et du **CEREG** pour l'ensemble de la zone d'étude. .... 29

## 1. INTRODUCTION

Face à la dégradation constatée du **milieu** physique nombreux de cours d'eau du Bassin Rhin-Meuse (rectifications, **enrochements**, endiguements, interruptions des transports sédimentaires...), et **dans le contexte français** de la **Loi** sur l'**Eau** de 1992 et des SDAGE qui **en** décourent, l'Agence cherche **aujourd'hui** à **gérer** les cours d'eau dans un plus grand respect de leur fonctionnement naturel, en tentant le plus possible de **restaurer** totalement ou partiellement leur dynamique.

Ces nouveaux objectifs de gestion posent la question de l'**élaboration** d'un **cadre** de référence national vis-à-vis duquel la **qualité** actuelle du milieu physique fluvial pourra être évaluée et qui **soutiendra** les **actions** de **restauration**. Ce **cadre** de référence se présente nécessairement comme une **grille** d'appréciation inscrivant chaque combinaison de variables hydrologiques et géomorphologiques d'un **tronçon** de **rivière** domé **dans un schéma** typologique fondé sur **les** modalités d'une dynamique naturelle. L'objectif est donc bien d'élaborer une typologie de rivières naturelles, **ou** tout du moins pseudo-naturelles, c'est-à-dire rivières dont le fonctionnement est le moins **artificialisé** possible.

Après avoir conçu une première **typologie** de rivières du bassin Rhin-Meuse (Zumstein et Goetgbebeur, 1994), l'Agence a affiné cette **typologie** à partir d'un travail de terrain de type « expert » (« rapides expertises de terrain ») effectué par Heidmann et **al.** (1998). Cette typologie est d'ores et déjà **utilisée** (Demortier et al., 1998 ; Agence de l'Eau Rhin-Meuse et al., 2000a ; Agence de l'Eau Rhin-Meuse et al., 2000b ; etc.) **pour** évaluer la **qualité** du milieu physique **des** rivières (Agences de l'Eau, 1999). **Cependant**, l'Agence a **souhaité** **expertiser** scientifiquement et consolider cette typologie **par confrontation** avec une typologie **hydro-géomorphologique**, Scientifiquement fondée (importante collecte de données, traitements statistiques **poussés**, prise en compte des données bibliographiques...), **élaborée** par le **CEREG**. Ce travail, **qui** fait l'objet du présent document et **qui ne** porte **que** sur le versant alsacien du fossé rhénan (8.200 km<sup>2</sup>), doit apporter plus particulièrement un éclairage scientifique **sur** les points suivants :

- \* expertise proprement dite de la typologie proposée par l'Agence **par confrontation** aux **résultats** des recherches menées **par ailleurs** par le **CEREG**. **Il** a en **outre été** demandé au **CEREG** de détailler partiellement cette expertise pour **les rivières** de la plaine **rénoise**, la dynamique hydro-géomorphologique de ce **réseau** hydrographique paraissant a **priori** particulièrement complexe ;
- mise en évidence **des** aspects structurants de la typologie de rivières du **CEREG** vis-à-vis des biocénoses aquatiques ;
- proposition d'axes d'amélioration de l'ensemble.

Le présent document constitue **une synthèse** fortement condensée du travail **effectué** par le **CEREG**. De fait, **nous** renvoyons le lecteur **intéressé par** l'ensemble des développements de l'étude au rapport **final** complet.

## 2. ELABORATION DE LA TYPOLOGIE CEREG

La démarche du **CEREG** repose essentiellement sur l'application de deux méthodes complémentaires :

- la réalisation de traitements **statistiques** multivariés de données collectées sur **des** sites adéquatement **localisés** sur le **réseau** hydrographique de la zone **d'ému** (Mosley, 1981 ; Cupp, 1989 ; **Cohen** et al., 1998) a constitué une **première** étape. **Elle nous** a permis d'aboutir à une typologie objective et **fine**, et de **régionaliser** les fonctionnements hydro-géomorphologiques des rivières selon une vision hiérarchique de **type** « remontant » (Analyses des Correspondances

Multiples - ACM, Classifications Ascendantes Hiérarchiques - CAH- de sous-ensembles de variables et de sites correspondant aux principales unités **naturelles** alsaciennes). Par ailleurs, nous avons pu faire apparaitre des regroupements hiérarchisés de variables pertinents pour l'établissement d'une typologie hydro-géomorphologique de cours d'eau (CAH des variables quantitatives, Analyse en Composantes Principales - ACP, ACM) ;

- une sectorisation des cours d'eau basée sur le gradient longitudinal de la puissance spécifique ou l'analyse des profils en long, ainsi que sur la morphologie du fond de vallée et les types d'unités naturelles parcourues par les cours d'eau (Bemot et al., 1998 ; Bemot et Creuzé des Chateaux, 1998). a représenté la seconde phase mise en oeuvre. Cette méthode, de type « descendant » à l'échelle du linéaire hydrographique, nous a permis de combler l'absence de données entre les sites de mesure, de localiser les principales discontinuités entre les types de rivières et d'affiner la typologie issue des analyses multivariées par confrontation raisonnée des différents segments homogènes obtenus.

## 2.1. APPROCHE STATISTIQUE

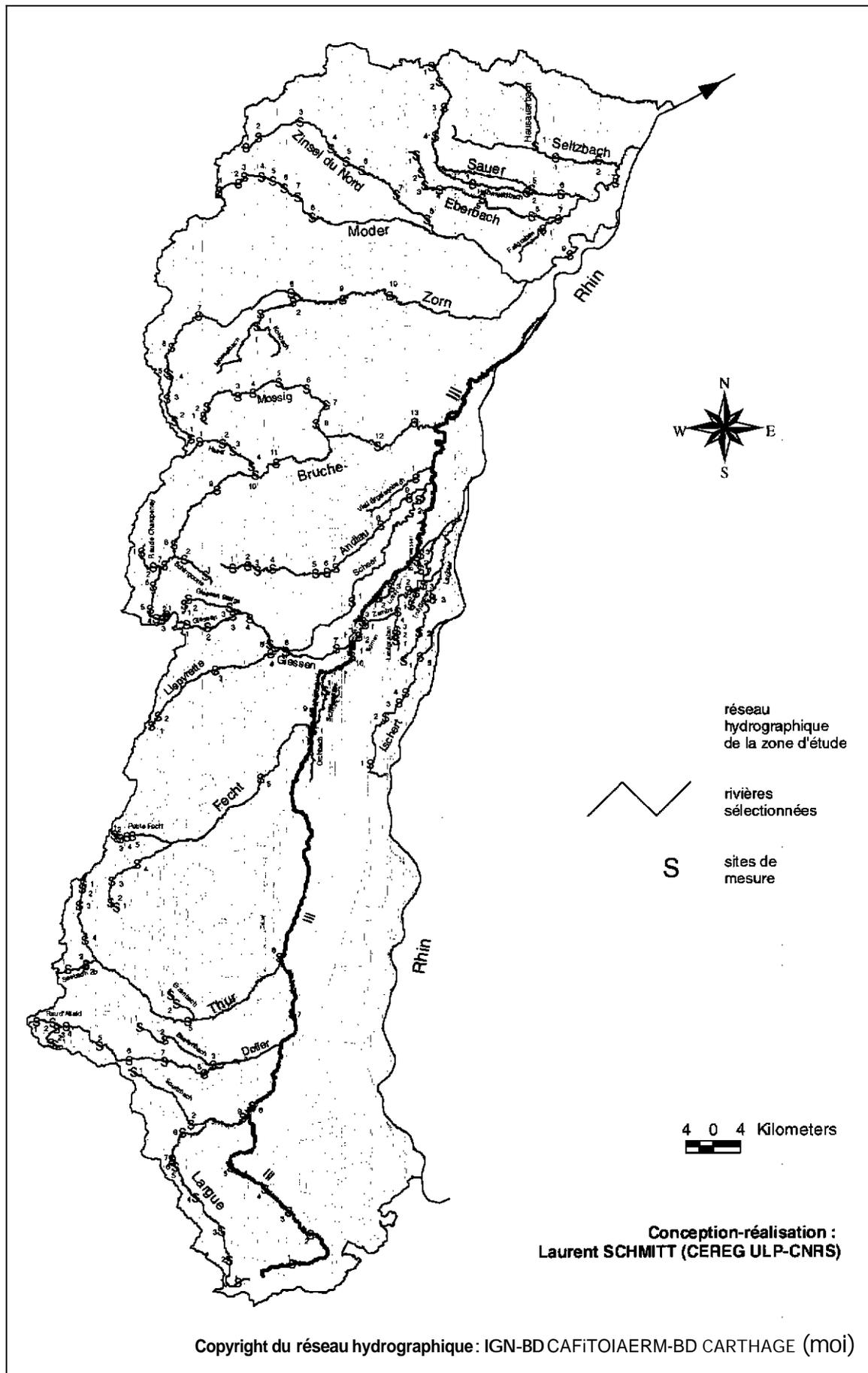
### 2.1.1. METHODOLOGIE

Parmi les 8.800 km du réseau hydrographique de la zone d'étude, un linéaire de 1.350 km, représentatif de la zone d'étude, a été sélectionné pour cette étude. Près de 187 sites de mesure (fig. 1), sur lesquels ont été mesurés un jeu complet de variables hydro-géomorphologiques, ont été localisés sur ce réseau hydrographique à partir des cartes topographiques et géologiques et d'un travail de reconnaissance préalable de terrain. Par ailleurs, le linéaire fluvial sélectionné a également été retenu pour la sectorisation des cours d'eau. Pour avoir une signification géomorphologique, un site de mesure représente un tronçon de cours d'eau dont la longueur est de l'ordre de 30 à 36 fois la largeur à pleins bords du lit mineur (Kershner et al., 1992 ; Simonson et al., 1994 ; Cohen, 1998), ce qui est bien adapté aux méthodes d'analyse de données (Cohen, 1998 ; Cohen et al., 1998). Les coordonnées de l'extrémité amont de chaque site sont connues avec précision grâce à l'utilisation d'un appareil GPS. Ceci nous a permis de constituer par la suite une base de données hydro-morphologiques géoréférencées, gérée dans le Système d'Information Géographique (SIG) ArcView.

Près de 31 variables ont été intégrées dans cette base de données. Ces variables, qui comprennent les trois grandes échelles spatiales des systèmes fluviaux (bassin versant, fond de vallée, lit mineur) sont les suivantes<sup>1</sup> : *type d'unité naturelle d'origine*, *surface* du bassin versant, altitude du site, ordre (Strahler, 1957), distance à la source, *type de fond de vallée*, largeur du fond de vallée, rapport d'encaissement (Rosgen, 1996), *style fluvial* (Rust, 1978), indice de sinuosité, pente moyenne de la ligne d'eau, surface mouillée, largeur à pleins bords, rayon hydraulique, rapport largeur/pfond, rugosité (méthode de Cowan, cité par Carlier, 1986), vitesse moyenne à pleins bords, débit à pleins bords, puissance brute, puissance spécifique, granulométrie moyenne et *taux* des sédiments du fond du lit, pourcentage de faciès d'écoulement « lotiques », pourcentage de berges sapées, pourcentage total de bancs (latéraux et médians), indice de mobilité pondéré ( $I_m$ ), indice de mobilité de Pfankuch (Coillier, 1992), indice de mobilité par étude diachronique, *origine et importance de la charge solide* (adapté d'ap. Montgomery et Bffigton, 1998), *granulométrie dominante de la charge solide* (adapté d'après Schumm, 1960, 1977, 1985), *type de dynamique naturelle* (adapté d'ap. Dom, 1995).

<sup>1</sup> Les variables qualitatives sont indiquées en italique.

Figure 1 : Carte de localisation des rivières sélectionnées et des 187 sites de mesure.



2.1.2. RESULTATS

2.1.2.1. TENDANCES HIERARCHIQUES DES VARIABLES HYDRO-GIOMORFOLOGIQUES

Une CAH des 25 variables prises en compte a fait apparaître 7 groupes cohérents de variables pouvant contenir entre 1 et 8 variables (fig. 2). Les variables liées à la taille des chenaux ne présentant qu'un intérêt secondaire vis-à-vis de la typologie à réaliser, celles-ci furent écartées des analyses statistiques ultérieures. Une ACP a permis de hiérarchiser ces groupes de variables. Enfin, une ACM effectuée à partir des variables quantitatives non liées à la taille et des variables qualitatives, a rejoint et consolidé cette hiérarchie de groupes de variables (tableau 1).

Figure 2 : Dendrogramme de la Classification Ascendante Hiérarchique des 25 variables quantitatives prises en compte pour l'analyse des données.

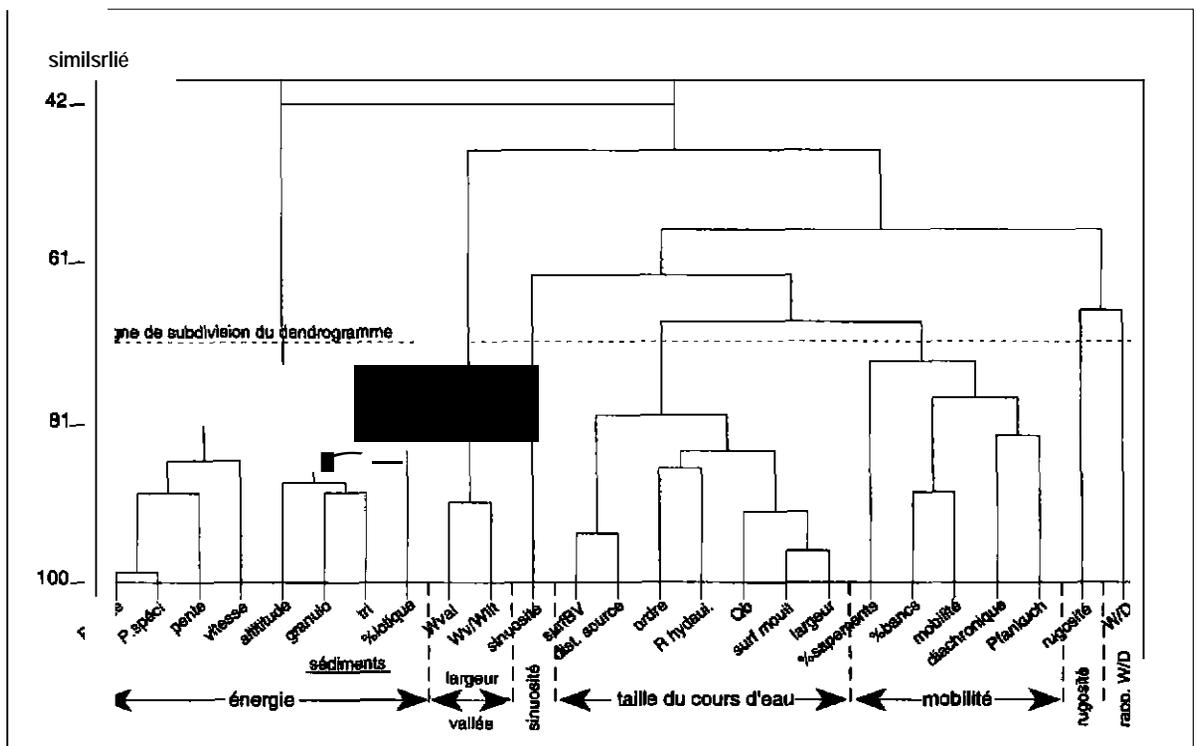


Tableau 1 : Correspondance entre la hiérarchie de variables définie à partir de la CAH des variables et de l'ACP et celle définie à partir de l'ACM.

Bonne correspondance :	←————→	Correspondance partielle :	←-----→
Hiérarchie définie à partir de la <b>CAH</b> des variables et de l' <b>ACP</b>		Hiérarchie définie à partir de l' <b>ACM</b>	
énergie	←————→	énergie	
Contrainte exercée par le fond de vallée	←-----→	intensité de la migration latérale des lits	
mobilité latérale des chenaux	←-----→	gradient théorique entre les rivières alluviales graveleuses et les rivières alluviales sableuses ou argilo-limoneuses	
sinuosité	←-----→		
* rapport largeur/profondeur	←-----→		
rugosité	←-----→		

### **2.1.2.3. PREMIERE REGIONALISATION HYDRO-GEOMORPHOLOGIQUE DES RIVIERES ALSACIENNES**

Cette régionalisation repose, d'une part sur l'ACM précédente (interprétation des deux premiers plans factoriels), et d'autre part sur l'interprétation des autes générées à partir de la base de données, en particulier de celle de la puissance spécifique à pleins bords ( $\omega$ ). L'emploi simultané de ces deux méthodes discrimine et permet de caractériser les cours d'eau sélectionnés comme suit :

- a. les rivières des Vosges cristallines du Sud, qui peuvent se subdiviser en :
  - a.1 torrents de fond de vallée en « V » ( $\omega$  supérieur à  $200 \text{ W.m}^{-2}$ , charge solide hétérométrique contenant des blocs, pas de dynamique latérale) ;
  - a.2 rivières alluviales intra-montagnardes des Vosges cristallines ( $\omega$  compris entre 50 et  $100 \text{ W.m}^{-2}$ , charge solide graveleuse, dynamique de méandres peu mobiles) ;
  - a.3 rivières graveleuses du piémont des Vosges à dynamique latérale active ( $\omega$  compris entre 50 et  $100 \text{ W.m}^{-2}$ , charge solide graveleuse, dynamique latérale intense de lits tressés ou à méandres divagants, rapport largeur/profondeur important souvent supérieur à 30) ;
- b. les rivières du contrefort jwassien et des collines loessiques du Sundgau ( $\omega$  compris entre 15 et  $40 \text{ W.m}^{-2}$ , charge solide argilo-limoneuse, dynamique modérée de méandres mobiles) ;
- c. les défluents actuels ou anciens elio-rhénans ( $\omega$  inférieur à  $5 \text{ W.m}^{-2}$ , charge solide sablo-graveleuse ou nulle, lits plus ou moins dynamiques pouvant s'envaser) ;
- d. les rivières de la région du Nord de l'Alsace ( $\omega$  inférieur à  $15 \text{ W.m}^{-2}$  excepté en cas de bassin, charge solide sableuse, voire argilo-limoneuse, dynamique de méandres mobiles parfois très sinueux, lits pouvant même s'inciser ou s'ensabler).

Ces premiers résultats ont nécessité des investigations complémentaires, notamment pour mettre en évidence d'autres subdivisions de lits (analyses multivariées sur des sownupes de sites et de variables), ainsi que pour faire apparaître les discontinuités longitudinales entre les types de lits (spatialisation longitudinale de la puissance spécifique,  $\omega$  et  $\omega$  fine des profils en long).

### **2.1.2.3. SPECIFICATION DE LA PREMIERE REGIONALISATION HYDRO-GEOMORPHOLOGIQUE**

#### **2.1.2.3.1. TYPOLOGIE DES RIVERES DES VOSGES CRISTALLINES**

La typologie des rivières des Vosges cristallines est précisée à partir d'une CGH des sites concernant les rivières de cette unité naturelle et des 7 variables a priori les plus discriminantes vis-à-vis de cet ensemble de cours d'eau: la puissance spécifique, le rapport d'encaissement, la granulométrie et le tri des sédiments du fond du chenal, le pourcentage d'unités morphodynamiques lotiques, l'indice de mobilité pondéré ( $I_m$ ) et l'indice de mobilité par étude diachronique.

Cette CAH confirme et précise les résultats précédents concernant les Vosges cristallines puisque les groupes « torrents montagneux », « rivières alluviales à dynamique très active » et « rivières alluviales intra-montagnardes des Vosges cristallines » sont également discriminés. Cependant, une distinction supplémentaire apparaît car le groupe des « rivières alluviales intra-montagnardes des Vosges cristallines » se subdivise nettement en un sous-groupe de « cours d'eau alluviaux intra-montagnards à énergie élevée et à dynamique limitée (dynamique limitée par la

présence **dans** le fond alluvial d'alluvions grossières dépassant la compétence des rivières ; il s'agit de dépôts fluvio-glaciaires ou d'apports des versants **dans** les **mes** de rétrécissement des fonds de vallée) et un sous-groupe de « cours d'eau alluviaux intra-montagnards à dynamique modérée » (fond alluvial large, constitué de matériel meuble facilement mobilisable).

### 2.1.2.3.2. **TYPLOGIE DES RIVIERES DES VOSGES GRÉSEUSES ET DE LA TERRASSE PLEISTOCÈNE DE LA FORÊT DE HAGUENAU**

Cette CAH prend **en** compte les **47** sites des Vosges gréseuses et du cône sableux pliocène de la Forêt de Haguenau ainsi que **7** variables quantitatives: la puissance spécifique, le rapport d'encaissement, la granulométrie, le pourcentage d'unités morphodynamiques lotiques, la sinuosité, l'indice de mobilité pondéré et l'indice de mobilité **par** étude diachronique.

Cette CAH a permis de préciser de façon **très importante** la typologie des rivières de ces unités naturelles :

- les torrents montagneux **des** Hautes Vosges **@seuses**, qui se rapprochent des torrents des Vosges cristallines ;
- les cours d'eau de tête de bassin, à fond de **vallée** est en **u V** » ou colluvial, **des** Basses Vosges **gréseuses** ;
- les rivières alluviales à énergie élevée et à dynamique limitée **des** Hautes Vosges **gréseuses**, qui se rapprochent des rivières aux caractéristiques morphodynamiques voisines des Vosges cristallines ;
- un groupe de rivières de la terrasse pliocène sableuse de la Forêt de **Haguenau**, dans lequel s'individualisent :
  - un sous-groupe de lits non incisés ;
  - un sous-groupe de lits incisés ;
- les rivières alluviales **des** Vosges **gréseuses** à énergie généralement faible et à dynamique plus ou moins active.

### 2.1.2.3.3. **DISTINCTION ENTRE LES RIVIÈRES ALLUVIALES DES VOSGES GRÉSEUSES ET LES RIVIÈRES W m m ORIGINAIRES DES VOSGES GRÉSEUSES, PARCOURANT LES COLLINES MARNO-CALCAIRES ET LOESSIQUES**

**Par** cette **CAH**, nous avons cherché à mettre en évidence une éventuelle subdivision du groupe défini ci-dessus des rivières alluviales des Vosges **gréseuses** à énergie faible et à dynamique plus ou moins active. **Pour** cela, ce traitement statistique n'a **pris** en compte **que** les **28** sites localisés sur les cours d'eau parcourant successivement les Vosges **gréseuses** et les collines marno-calcaires et loessiques. **Les** variables **utilisées** pour cette CAH sont les 5 variables les plus discriminantes pour cet ensemble de sites : la pente, le rapport d'encaissement, le rapport **largeur/profondeur**, le pourcentage de berges sapées, l'indice de mobilité pondéré.

**Les résultats** de cette CAH montrent qu'il est pertinent de subdiviser l'ensemble des rivières alluviales des Vosges **gréseuses** à énergie faible et à dynamique plus ou moins active en deux **sous-groupes**, l'un de rivières alluviales strictement comprises dans les Vosges gréseuses, et le second de rivières alluviales **originaires** des Vosges **@seuses** et parcourant les **collines** marno-calcaires et loessiques.

#### 2.1.2.3.4. TYPOLOGIE DES COURS D'EAU DES COLLINES ET PLATEAUX MARNO-CALCAIRES ET LOESSIQUES

Cette **CAH** repose sur les 31 sites localisés sur les rivières dont le bassin se développe essentiellement dans les collines marno-calcaires et loessiques, ainsi que sur 13 variables suivantes : la puissance spécifique, la pente, le rapport d'encaissement, la sinuosité, le rapport largeur/profondeur, la granulométrie et le tri des sédiments du fond des chenaux, l'indice de mobilité de Pfankuch, l'indice de mobilité pondéré, l'indice de mobilité par étude diachronique, le pourcentage d'unités morphodynamiques lotiques le pourcentage de berges sapées et le pourcentage de bancs.

Cette CAH a permis de distinguer :

- un groupe de cours d'eau à dynamique modérée et à granulométrie moyenne
- un groupe de cours d'eau à dynamique modérée et à granulométrie faible
- un **p u p e** de cours d'eau à dynamique très active

#### 2.1.2.3.5. TYPOLOGIE DES RIVIÈRES DE LA PLAINE RHÉNANE

##### - Élaboration de la typologie

Compte tenu du **linéaire** très important du réseau hydrographique de la plaine rhénane (3.500 km sur une superficie de 2.800 km<sup>2</sup>), de la complexité de son fonctionnement hydrogéomorphologique, et de la demande de l'Agence de détailler plus particulièrement cette partie de notre étude, d'importants développements ont été réalisés pour élaborer la typologie des rivières de la plaine rhénane. Ces développements ont consisté en :

- a. une mise au point de l'évolution post-würmienne et holocène des rivières de la plaine rhénane, assortie de précisions, aussi importantes que possible (compte tenu de la rareté des données hydrologiques des rivières phréatiques), sur le fonctionnement hydrologique des défluent et paléo-défluent elloihénaus. Sans ces développements, l'interprétation des deux étapes ultérieures aurait été malaisée, voire impossible ;
- b. un ensemble de plusieurs analyses statistiques multivariées, à savoir une ACM (de tous les sites et de toutes les variables discriminantes pour les rivières de plaine) et 3 CAH (une de tous les sites, une exclusivement des sites localisés sur les rivières allochtones et une exclusivement des sites concernant les défluent et paléodéfluent ello-rhénaux - Schmiu et al., 2000; le nombre de variables prises en compte a légèrement varié dans les différents cas) ;
- c. une large reconnaissance géomorphologique qualitative de rivières de la plaine rhénane. Cette étape a permis de valider et d'étendre la typologie d'ordre statistique à un jeu plus étendu de rivières que celles contenant des sites de mesure.

La typologie finale des rivières de la plaine rhénane, obtenue à partir des analyses statistiques et validée par la reconnaissance géomorphologique, distingue en définitive 5

types :

- ① les cours d'eau allochtones du piémont des Vosges méridionales et moyennes, à dynamique latérale importante ;
- ② les cours d'eau allochtones de la zone médiane, à dynamique modérée ;
- ③ les cours d'eau allochtones de la plaine rhénane septentrionale, à dynamique faible, parcourant des paléochenaux rhénaux ;
- ④ les défluent et paléodéfluent ello-rhénaux, à dynamique modérée ;
- ⑤ les paléodéfluent ello-rhénaux<sup>2</sup>, à dynamique faible ou nulle.

<sup>2</sup> Nous dénomons ce type de paléodéfluent ello-rhénaux... car la plupart des chenaux appartenant à ce type sont des anciens défluent de l'Elbe et du Rhin. Toutefois, certains d'entre eux peuvent, le cas échéant, être des défluent d'autres cours d'eau allochtones.

## - La plaine rhénane : un espace hydro-géomorphologique hétérogène

Alors que le **rift** continental du Rhin Supérieur s'est formé à partir de l'Éocène inférieur, il ne s'est trouvé parcouru par le Rhin que depuis la fin du Pliocène. Jusqu'à la fin du Pleistocène, le réseau très complexe et dynamique de chenaux du Rhin s'étalait sur toute la largeur de la plaine, ce qui explique que l'eau n'était pas encore individualisée (B.R.G.M., 1972; Simler et al., 1979). A la suite du réchauffement climatique général de l'Holocène par rapport au Pleistocène, de la formation du Lac de Constance qui a piégé d'importantes quantités d'alluvions rhénanes, et de mouvements tectoniques négatifs aux environs de Marckolsheim, le profil longitudinal du Rhin post-Würmien s'est réajusté durant l'Holocène comme suit :

- incision pouvant atteindre 12 m sur les tronçons Bâle-Breisach et Strasbourg-Lauterbourg (Hirth, 1971) ;
- stabilisation (voire, à hauteur de **Rhinau**, un léger exhaussement) dans la zone Breisach-Strasbourg (Hirth, 1971 ; Maire et Sanchez, 1992).

Il découle de cette évolution l'organisation sub-actuelle suivante de la plaine rhénane et de son réseau hydrographique :

### - Secteur Bâle-Breisach (pente de 1‰)

De l'Est vers l'Ouest, les unités hydro-géomorphologiques s'organisent comme suit: lit majeur rhénan large de 3 à 4 km parcouru par de nombreuses anabranches, la « Hardt Rouge » quasiment dépourvue d'écoulement superficiel, lit majeur de l'III et une dépression longitudinale sub-méridienne piégeant jusqu'à Sundhoffen divers chenaux comme La Lauch, La Vieille Thur, le Durbach... (Hirth, 1971 ; Carbiener, 1983a).

### - Secteur Breisach-Strasbourg (Grand Ried Central d'Alsace ; pente de 0.6 à 0.8‰)

Le lit majeur du Rhin s'étalait sur 4 à 6 km de large (crues ordinaires), mais pouvait exceptionnellement s'étendre sur toute la plaine, soit sur une largeur de près de 20 km (crues centennales). De l'Est vers l'Ouest, les unités hydro-géomorphologiques sont les suivantes (Carbiener, 1983a) : le lit majeur ordinaire **rhénan** parcouru par de nombreuses anabranches, la « Hardt Grise » (Sud de Marckolsheim) et les levées post-romaines du « Ried Brun » (Nord de Marckolsheim), parcourues par quelques anabranches rhénanes, la dépression humide de type bas marais calcique à sols hydromorphes du « Ried Noir », généralement inondée par des remontées de la nappe phréatique et parcourue par des paléo-défluent de l'III ou du Rhin principalement alimentés par la nappe (Carbiener, 1983b) et le lit majeur de l'ni parcouru par de nombreux défluent et paléodéfluent eilans. Le développement exceptionnel du réseau de défluent rhénans et eilans dans ce secteur de la plaine rhénane résulte de la conjonction de la plupart des facteurs favorisant le style à anastomoses, et, plus généralement, à anabranches (Schumm, 1968 ; Smith et Smith, 1980 ; Knighton et Nanson, 1993 ; Nanson et Knighton, 1996 ; Schumm et al., 2000) : une importante largeur de la plaine alluviale, des mouvements tectoniques négatifs, une nette tendance à la sédimentation, l'héritage de la paléodynamique du Rhin et de l'III partiellement conservé grâce au fonctionnement hydrologique sub-actuel de ces deux cours d'eau.

### - Secteur Strasbourg-Lauterbourg (pente de 0.445‰)

Le style fluvial à méandres du Rhin se substitue progressivement au style à chenaux multiples. De fait, le lit majeur du Rhin, large de 6 à 8 km, s'est trouvé parcouru au cours de l'Holocène par de nombreux méandres ou anabranches du Rhin à longueur d'onde élevée (environ 3 à 4 km). Ces chenaux constituèrent, après que les eaux rhénanes ne s'y soient plus écoulées, des voies d'écoulement privilégiées pour les cours d'eau allochtones originaires des Vosges du Nord (Zorn, Moder, Sauer...), mais aussi pour l'III. Sur un plan morphodynamique, ces paléo-chenaux rhénans présentent depuis leur changement de mode d'alimentation, et donc depuis leur diminution de débit, une dynamique d'atterrissement et de « contraction ». En outre, il résulte de ces caractéristiques de la plaine rhénane septentrionale que les rivières phréatiques (exceptés quelques fossés) sont rares au Nord de Strasbourg.

Par ailleurs, il convient de souligner que les aménagements successifs du Rhin ont entraîné une profonde modification du fonctionnement hydro-géomorphologique des rivières de la plaine rhénane :

- d'une part, l'abaissement du toit de la nappe phréatique dans la partie amont de la plaine entraîna le tarissement de sources sur le transect Neuf-Brisach-Colmar, et donc le raccourcissement des rivières phréatiques dans cette zone. En outre, l'atténuation des oscillations de la nappe à l'extérieur des digues des hautes eaux, et la contraction de la zone de la nappe sous influence rhénane, induisit probablement une pondération de l'écoulement des rivières phréatiques et semi-phréatiques et une extension vers l'Est du régime de type « pluvial océanique pondéré » pour les rivières phréatiques ;
- d'autre part, la déconnexion hydrologique du fleuve avec son lit majeur (ordinaire et séculaire) ne permit plus le désenvasement des lits de la plaine au cours des submersions. La simple alimentation phréatique de ces chenaux n'assura donc plus leur pérennité à long terme.

#### 2.1.2.4. TYPOLOGIE RESULTANTE DE L'ENSEMBLE DE LA ZONE D'ETUDE

En définitive, la mise en commun des regroupements de sites obtenus à partir de l'interprétation des différents traitements statistiques cidessus permet de proposer, sur des bases statistiques objectives, une typologie hydro-géomorphologique fonctionnelle des cours d'eau de la bordure alsacienne du fossé rhénan. La dénomination des types et sous-types de cours d'eau, guidée par leur dynamique hydro-géomorphologique, est indiquée dans le tableau 3. Le tableau 2 synthétise, qualitativement et quantitativement leurs caractéristiques hydro-géomorphologiques.

## 2.2. DU SYSTÈME FLUVIAL À LA TYPOLOGIE FINALE

### 2.2.1. APPROCHE FONDÉE SUR LA SPATIALISATION DE LA P W C SPECIFIQUE : L'EXEMPLE DE L'EBERBACH

Nous avons tout d'abord préétabli une méthode de sectorisation fondée sur la variation longitudinale de la puissance spécifique, l'évolution longitudinale de la morphologie du fond de vallée et la succession d'unités naturelles parcourues par le cours d'eau. Comme cette méthode demande un travail relativement conséquent, nous ne la présentons que comme exemple méthodologique.

Cette approche est adaptée des travaux de Bemot et al. (1996), Bemot et Creuzé des Châteliers (1998) et Astrade et Bravard (1999) qui insistent à estimer la puissance spécifique de tronçons successifs longs de 500 m ou 1 km, de l'amont vers l'aval d'un cours d'eau. Le gradient longitudinal obtenu permet de diviser le linéaire fluvial en grands secteurs homogènes. Des rapprochements entre ces derniers peuvent induire, dans un second temps, à une typologie (Bemot et Creuzé des Châteliers, 1998).

Dans notre cas, compte tenu de la dimension relativement modeste des rivières étudiées, la longueur des tronçons élémentaires est de 500 m. L'estimation de la puissance spécifique repose sur l'équation :

$$\omega = \frac{\rho g Q_b S_e}{w} \quad (\text{W.m}^{-2}) \quad (1)$$

(Leopold et al., 1964; Bagnold, 1966). où  $\rho$  est la densité de l'eau, qu'on admet constante, et  $g$  l'accélération de la pesanteur. Il est donc nécessaire d'estimer pour chaque tronçon les trois variables

suivantes : la pente de la ligne d'énergie  $S_e$  qu'on peut assimiler à la pente moyenne de la ligne d'eau, la largeur du lit à pleins bords  $w$  et le débit à pleins bords théorique  $Q_b$ , considéré comme le débit le plus morphogène (Wolman et Miller, 1960 ; Leopold et al., 1964).

Cette méthodologie de sectorisation a été illustrée à partir de l'exemple de l'Eberbach, un affluent de rive droite de la Sauer, long de **35 km** et dont la superficie du **bassin** est **187 km<sup>2</sup>**. L'évolution longitudinale de la puissance spécifique traduit fidèlement la séquence des quatre unités hydrographiques parcourue par la rivière, mais fait également apparaître une discontinuité supplémentaire **très** nette **dans** la partie médiane de la terrasse de la Forêt de Haguenau, à l'Est de laquelle la puissance spécifique augmente fortement (figure 3). Ceci s'explique essentiellement par une brusque accentuation de la pente dans ce secteur, induite par **des** mouvements néo-tectoniques post-Mindel.

### 2.2.2. APPROCHE FONDÉE SUR L'ANALYSE DES PROFILS EN LONG DES CORRIDORS FLUVIAUX

Pour sectoriser les cours d'eau sélectionnés le plus précisément possible, sans **passer** par la spatialisation de la puissance spécifique, nous avons raisonné **à** partir des critères de sectorisation suivants : les variations de pente du corridor **fluvial**, l'évolution longitudinale de la morphologie du fond de vallée et la succession d'unités naturelles parcourues par le cours d'eau. Comme **précédemment**, chaque tronçon homogène a été classé dans l'un des types de cours d'eau grâce au classement des sites de mesure, comme l'**illustre** la figure 4. La carte de la typologie définitive est donnée dans la figure 5.

### 2.2.3. COMPARAISON DES DEUX MÉTHODES DE SECTORISATION

Ces deux méthodes font clairement apparaître les **discontinuités** entre types de rivière, celles-ci n'apparaissant pas à partir des sites de mesure. **Il** est **très** probable, comme le souligne la sectorisation de l'Eberbach, que les résultats de **ces** deux méthodes, en terme de sectorisation, soient quasi-identiques. Cependant, la méthode de la spatialisation de la puissance spécifique présente, par rapport à la seconde, **certain**s avantages non négligeables :

- la puissance spécifique donne implicitement une meilleure connaissance de la morphodynamique des **lits** fluviaux « naturels », cette variable étant reconnue comme une variable-clé en géomorphologie fluviale (Ferguson, 1981 ; Newson et al., 1998, Schmitt et al., 2001). il convient cependant de **prendre** également en compte quelques paramètres géomorphologiques additionnels comme la sinuosité et la rapport largeur/profondeur (Schmitt et al., 2001) ;
- la spatialisation **de** la puissance spécifique permet de regrouper des tronçons en **types de** rivière **sans** avoir préalablement effectué des analyses statistiques, comme l'ont **réalisé** Bemot et Creuzé des Châtelliers (1998). Pour cela, il convient d'interpréter les résultats en prenant en compte les variables géomorphologiques additionnelles susnommées. Dans **notre cas**, la typologie ayant été élaborée à partir de traitements statistiques, la méthode de sectorisation fondée sur la puissance spécifique permettrait de valider et de consolider le système typologique.

<sup>3</sup> En **toute rigueur** il conviendrait **d'utiliser** le périmètre **mouillé**, mais, dans la pratique, tous les auteurs s'accordent **pour** utiliser la largeur à pleins bords car cette variable est plus **facile** à estimer et est généralement voisine **du** périmètre **mouillé**.

Figure 3 : Sectorisation de l'Eberbach fondée sur le gradient longitudinal de la puissance spécifique. Méthode adaptée d'après Bernot et al. (1996) et Bernot et Creuzé des Chatelliers (1998).

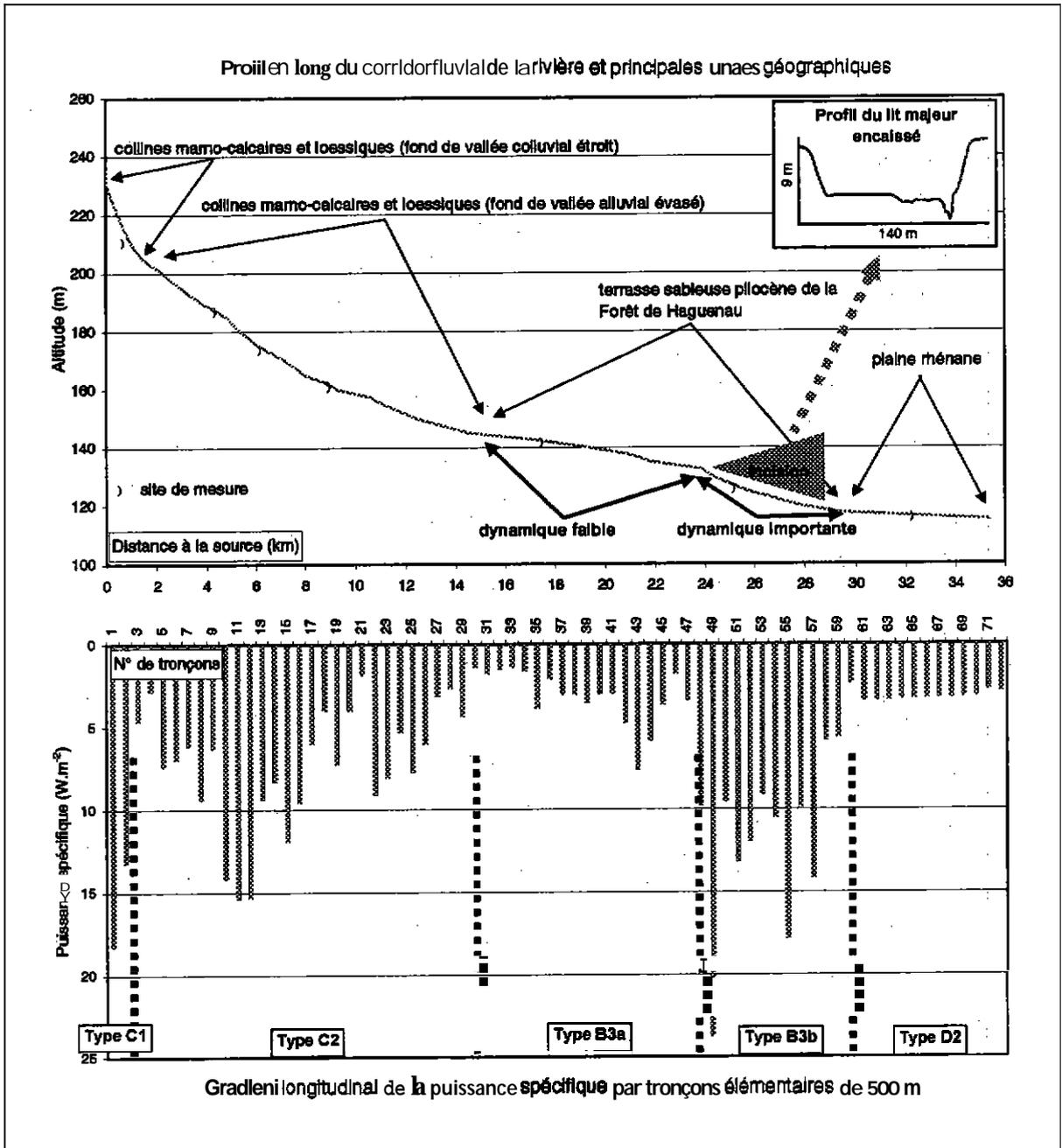


Figure 4 : Sectorisation de la Bruche d'après le profil en long de son corridor fluvial, les changements vers l'aval de la morphologie du fond de vallée et les types d'unités naturelles parcourus.

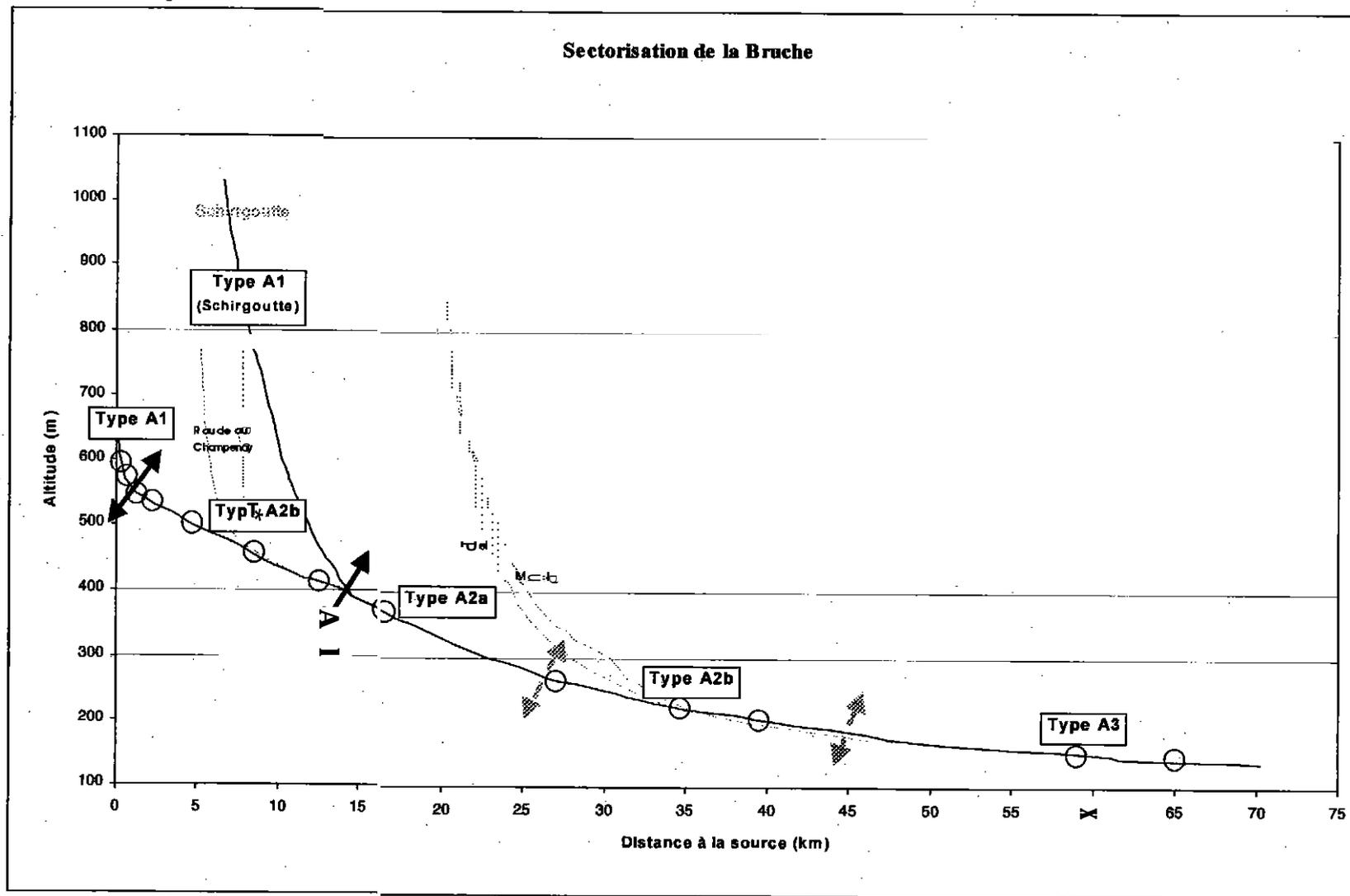


Tableau 2 : Caractéristiques hydro-géomorphologiques des types et sous-types de rivières de la zone d'étude.

Variables \ Types		A1	A2a	A2b	A3	B1	B2	B3a <sup>(Bart6)</sup>	B3b	C1	C1a	C2	C2a	D1	D2	D3	D4
Région naturelle		Vosges cristal Htes Vo grés	Vosges cristal Htes Vo grés.	Vosges cristallines	Vosges cristallines	Basses Vosg. gréseuses	Vosges gréseuses	Terrass. sabl. pliocènes	Terrass. sabl. pliocènes	Collines plat. marno-calc.	Collines plat. marno-calc.	Collines plat. marno-calc.	Collines plat. marno-calc.	Plaine rhénane	Plaine rhénane	Plaine rhénane	Plaine rhénane
Type fond de vallée	Berceau collu. « V » ou « U »	●				●											
	Plat alluvial		●	●	●		●	●		●		●	●				
	Encal' terrasse				●				●		●			●	●	●	●
	Plaine rhénane													●	●	●	●
Style fluvial		Rectiligne	Sinuosité faible	Méandres	Méandres diverg., tresses	Rectiligne	Méandres	Méandres	Méandres	Méandres	Méandres divergants	Méandres	Méandres	+/- sinueux, méandres	Paléo-méand. rhénans	Anastomoses, paléo-anasto.	Paléo-anastomoses
Régime hydrologi.		Océanique															
Alimentation hydrolog.														Alloch/ alim° phréatique	Alloch/ alim° phréatique	Pic crue/alim° phréat/prise	Alim°phréat/ prise/pic crue
Débordements inondations			●	●	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Echan. nappe- Riv. → nappe			● ?	● ?	●		● ?	●		● ?		● ?	● ?	Sud Colmar			
Riv dominants Nappe → riv.														Nord Colmar	●	●	●
Origine et importance		1. Versants +				●											
charge solide (cf. tabl. 3)		2. Versants -			●	●											
		3. Reprises +		●				●	●	●	●	●	●	●		●	●
		4. Reprises -	● + amont				● + amont								●		●
Charge solide dominante		Blocs	●	●	●	●	●				●						
		Graveleuse	●	●	●	●	●				●						
		Sableuse	● ex-type A1'	● ex-type A2a'		●	●	●	●				●	●	●	●	●
		Argilo-limon.								●	●	●	●				
		Nulle															●
Evolution morphodynam		Stable	●	●		●										●	●
		Contra°-envas'															●
		Exhaussem'				●											
		Incision				●				●	●	●	●	●	●	●	●
		Dépla° latér.		●	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Puiss. spécifique (w.m <sup>2</sup> )		387 (1.9)	92 (0.8)	42 (1.3)	48 (0.2)	57	7 (1.2)	1	5 (0.6)	24 (0.4)	61 (0.4)	8 (0.6)	13 (1.4)	5.6 (0.8)	1	2.2 (0.7)	1.9 (0.7)
Pente (‰)		98 (0.8)	13.3 (0.6)	7.4 (0.7)	6.1 (0.4)	38.6	2.3 (0.9)	0.58	1.4 (0.5)	4.6 (0.7)	12.0 (0.6)	1.5 (0.7)	1.8 (1.2)	0.8 (0.5)	0.3	0.9 (0.9)	0.7 (0.3)
Rapport d'encaissement		4.1 (1.8)	20.8 (0.6)	58.6 (0.7)	20.5 (0.9)	2.8	24.6 (0.9)	204	12.5 (0.1)	34 (0.6)	2.6 (0.5)	44 (0.6)	46.9 (0.6)	336 (0.5)	314	429 (0.7)	807 (0.6)
Sinuosité		1.0 (0.0)	1.1 (0.0)	1.3 (0.2)	1.2 (0.1)	1.0	1.2 (0.1)	1.7	1.5 (0.1)	1.4 (0.2)	1.2 (0.1)	1.4 (0.2)	1.4 (0.2)	1.1 (0.1)	1.7	1.3 (0.2)	1.2 (0.2)
Rap. largeur/profondeur		11.3 (0.4)	15.6 (0.4)	11.1 (0.6)	26.5 (0.6)	8.3	9.5 (0.2)	8.4	9.1 (0.2)	7.6 (0.2)	11.9 (0.4)	6.1 (0.4)	8.0 (0.2)	13.7 (0.4)	24.7 g' ratio	14.1 (0.5)	9.5 (0.3)
Diamètre moyen (mm)		337 (0.4)	139 (0.5)	44 (0.5)	73 (0.4)	64	14 (1.0)	17	15 (0.2)	37 (0.4)	81 (0.2)	13 (1.6)	27 (0.8)	24 (0.3)	20	17 (0.7)	4 vase fréq.
Tri sédi <sup>ns</sup> fd lit (coef. varia°)		1.0 (0.1)	0.7 (0.3)	0.6 (0.2)	0.5 (0.1)	1.0	0.5 (0.3)	0.7	0.6 (0.3)	0.6 (0.2)	0.5 (0.0)	0.3 (0.3)	0.6 (0.4)	0.5 (0.1)	0.5	0.4 (0.6)	0.1 vase fréq.
Ind. mobilité pondéré I <sub>m</sub>		6 (1.6)	27 (0.6)	30 (0.8)	73 (0.4)	12	14 (1.2)	15	31 (0.3)	44 (0.2)	46 (0.4)	18 (0.7)	22 (0.5)	25 (0.5)	1	14 (1.3)	0.0
Ind. mobilité Pfankuch		50 (0.2)	51 (0.2)	56 (0.2)	72 (0.1)	61	60 (0.1)	52	72 (0.1)	63 (0.1)	75 (0.0)	54 (0.2)	61 (0.2)	57 (0.2)	40	52 (0.3)	34 (0.1)
% de faciès lotiques		62 (0.2)	61 (0.3)	34 (0.3)	40 (0.3)	64	18 (1.2)	0	14 (0.7)	27 (0.4)	29 (0.3)	3 (1.6)	17 (0.8)	27 (0.3)	8	20 (0.9)	0.4 (4.5)
% de berges sapées		16 (1.3)	33 (0.8)	26 (0.9)	52 (0.5)	33	19 (1.2)	46	55 (0.2)	102 (0.3)	59 (0.5)	63 (0.8)	62 (0.6)	32 (0.7)	2	21 (1.3)	0.0
% rives occupées bancs		5 (2.5)	25 (0.8)	30 (1.1)	80 (0.5)	5	12 (1.3)	4	23 (0.5)	24 (0.5)	42 (0.6)	3 (1.4)	9 (1.1)	6 (0.9)	1	2 (1.5)	0.0
Ind. mobilité diachroniq.		1.0	1.3	2.4	3.4	1.0	1.8	3	3.6	2.0	3.3	2.2	2.2	2.0	1.0	1.5	1.0

● Bonne correspondance

● Correspondance partielle

[moyenne (coefficient de variation)]

### **3. EVALUATION SCIENTIFIQUE DE LA TYPOLOGIE DE L'AGENCE**

#### **3.1. EVALUATION DE LA TYPOLOGIE DES RIVIERES DE LA PLAINE RHENANE**

Dans un souci de cohérence nous prendrons également en compte dans ce paragraphe le type A3 « cours d'eau alluviaux du piémont des Vosges cristallines à dynamique très active » afin de pouvoir le comparer au type ((cours d'eau de piémont, cônes alluviaux, glacis » de l'Agence.

##### **3.1.1. APPRECIATION D'ENSEMBLE**

Comme on peut le constater dans le tableau 4 et en comparant la figure 4 avec la typologie de l'Agence, la typologie des rivières de la plaine rhénane élaborée par l'Agence recoupe assez largement celle du CEREG. Il n'y a pas, à cet égard, de contradiction rédhibitoire.

La variabilité des différents types est, au premier abord, du même ordre dans les deux typologies (tabl. 5). Les coefficients de variation des types D3 et D4 du CEREG qui correspondent pour l'essentiel au seul groupe "cours d'eau phréatique" de l'Agence, sont évidemment moins élevées que le coefficient unique de l'Agence. Ceci s'explique aisément, le principe des classifications automatiques étant précisément de constituer des groupes à variabilité interne la plus faible possible. En outre, sur les 10 sites regroupés dans le type A3, seulement 5 appartiennent au type « cours d'eau de piémont et de cônes alluviaux... » de l'Agence. De fait, il est logique que la variabilité de ce type de la typologie de l'Agence soit moindre.

##### **3.1.2. POINTS PARTICULIERS**

A travers les différentes variables retenues, la procédure adoptée par le CEREG a conduit pour l'essentiel à subdiviser les rivières de la plaine rhénane selon deux critères majeurs, relatifs à leur origine (allochtone, autochtone), et à l'intensité de leur dynamique (forte, modérée, faible) celle-ci étant perçue au travers des formes fluviales. Le croisement de ces deux critères ne donne cependant que 5 catégories : en effet la 6<sup>e</sup> catégorie potentielle, celle d'un organisme fluvial autochtone puissant, ne peut se réaliser, le concept de plaine impliquant un relief sans énergie, des précipitations amoindries, des sols alluviaux plus aptes à l'infiltration qu'au ruissellement... Ce mode de classement (CEREG) : sous-tendu par deux critères majeurs, explique en définitive un certain nombre de distorsions entre les deux typologies qui apparaissent en analysant le tableau 4 et en confrontant la typologie du CEREG (fig. 4) avec celle de l'Agence.

➤ **Type D2** : Dans la typologie de l'Agence, les cours aval de l'Inl, de la Moder, de la Sauer, sont classés comme "cours d'eau phréatiques". Il nous semble que cette qualification est très réductrice. S'il est bien certain que des échanges importants se produisent entre nappe et rivière, il n'en reste pas moins que la majeure partie des débits écoulés en temps de crue, c'est-à-dire des débits morphogènes, ne provient pas de la seule contribution de la nappe. En raison même de leur ampleur et du "différentiel" des débits qui y transitent, les tronçons terminaux de ces cours d'eau ne peuvent être réunis dans le même groupe que les petits cours d'eau du Ried central d'Alsace. Dans le schéma du CEREG, Moder aval et Sauer aval s'individualisent très bien et forment une catégorie particulière D2, qu'explique la genèse particulière de leurs lits, anciens chenaux du Rhin ou de défluent rhénans de grande taille.

➤ **Type A3** : Si l'**assimilation** des "cours de piémont, cônes alluviaux, glacis" (5 cas) de l'Agence avec le type **A3** ("rivières allochtones du piémont des Vosges méridionales et moyennes") ne pose pas de problème majeur, il n'en est pas de même en **sens inverse**. Aux cinq sites classés identiquement, le CEREG adjoint au type **A3** quatre autres sites. Il s'agit de deux sites de l'Ill en amont de **Colmar**, d'un site de la Fecht et d'un site de la Bruche. Là encore, la logique **CEREG** considère plus l'organe fluvial lui-même **dans** sa continuité que le substrat qu'il traverse localement. Ce dernier imprime **certes** à la rivière des **caractères** particuliers (ente, sédiments...), **mais** ne détermine quasiment jamais la masse d'eau morphogène. **Si** est vrai que l'influence **phréatique** se fait sentir **dans ces** secteurs, c'est surtout **dans** le **sens** d'une **atténuation** des débits **par** infiltration **dans** les formations des cônes alluviaux des 3 rivières : très sensible en période de basses eaux, où les **débits** chutent, cette influence devient **très** relative (négligeable ?) en période de **hautes** eaux et n'empêche pas d'importantes crues de se développer aux sites considérés.

\* **Type D1** : Le type **D1** du CEREG agglomère des sites relevant de deux catégories de la typologie de l'Agence ("cours d'eau de piémont à influence phréatique" et "cours d'eau de plaine à influence phréatique"). **Notons** d'abord qu'il ne semble pas exister de **différence** franche entre **ces** deux **types** de cours d'eau, si ce n'est leur localisation, au sud de Sélestat pour les premiers, au **nord** de Sélestat pour les seconds (et au **nord** de Strasbourg : Souffel, **Zorn** et Moder pour partie). Le **schéma** CEREG reprend **certes** implicitement une distinction de positionnement altitudinal du **type** piémont-plaine puisque les sites catalogués **dans** le **type D1** sont **tous** à l'aval des sites **réunis dans** le type **A3**. C'est toutefois par **l'intermédiaire**, plus explicite, des forma et des **traces** de mobilité des lits que s'opère la répartition entre les **types A3** et **D1**.

➤ **Types D3 et D4** : **Ces** deux types du **CEREG** résultent d'une dissociation de l'ensemble "cours d'eau phréatiques" de la typologie de l'Agence. Cette dissociation s'est inscrite dans la même logique que précédemment, adaptant évidemment **ses critères** au problème spécifique de **ces** cours d'eau. **Nous** avons montré par **des** traitements statistiques que les deux types **D3** et **D4** se disaient clairement sur des critères **hydro-géomorphologiques** et qu'il convient de faire cette distinction aux **lias** d'évaluation de la qualité du milieu physique. **En** revanche la subdivision en sous-types **D4a** et **D4b**, utile au plan de la **gestion** de ces rivières, ne devrait pas conduire à l'emploi d'une **grille différenciée** d'évaluation de la qualité physique des cours d'eau **concernés**.

Il reste à examiner une curiosité apparue à la suite du processus d'analyse : il s'agit des deux sites de la **Scheer** (inclus **dans** le type "cours d'eau de plaine à influence phréatique" de l'Agence) qui s'affichent dans le **type D3** du CEREG en compagnie d'authentiques **défluent**s de l'Ill. Si l'on y regarde de plus près, on relève que la **Scheer** est une rivière **issue** d'un **bassin** versant de **peu** d'importance (en **surface** et en altitude), qu'elle **s'infiltre** presque entièrement **dans** les formations de **son** glacis-cône, qu'à l'issue de celui-ci elle draine la **partie sud** du **Ried** de l'**Andlau** : **dans** ce secteur, l'influence phréatique est indéniable, tout comme est indéniable le fait que **son** écoulement est **soutenu** par **l'intermédiaire** du jeu des dérivations successives de l'Aubach (prise d'eau sur le Giessen) et du Blumbaechel (prise d'eau sur l'Aubach). Il **ressort** de ce dispositif, ainsi que de l'évolution finiwürmienne et holocène **précisée** plus haut de cette rivière (vraisemblablement un ancien défluent **ellan**), qu'un rapprochement avec **les** défluent)s de l'Ill, à régime **semi-phréatique** n'a rien d'illogique. On est ici **dans** un **cas** limite où la part allochtone de l'écoulement **s'efface** devant la **part** pseudo-autochtone, **part** contrôlée en fait par **des** prises régulées.

Tableau 4 : Comparaison de la classification des sites de mesures dans les divers types de rivières de la plaine rhénane des deux systèmes respectifs de l'Agence et du CEREG.

Types Agence	Sites	Types CEREG (baiternents statistiques et reconnaissance de terrain)				
		Type A3	Type D1	Type D2	Type D3	Type D4
Cours d'eau de piémont, cônes alluviaux, glacis	Doller7	◆				
	Doller8	◆				
	Thur5	◆				
	Fech5	◆				
	Giesen6	◆				
	Andlau6	◆				
Cours d'eau de piémont à influ. éphémère	Bruche12	◆				
	LTH7	◆				
	LTH8	◆				
	LTH9		◆			
Cours d'eau de plaine à influence éphémère	LTH10		◆			
	Giesen7					
	Scheer1				◆	
	Scheer2				◆	
	Andlau8		◆			
Cours d'eau éphémères	Andlau9		◆			
	Bruche13	◆				
	Bornem1				◆	
	Bornem2				◆	
	Bornem3				◆	
	Bromwasser2				◆	
	Bromwasser3				◆	
	Lutter3				◆	
	Schiffwasser1				◆	
	Orchbach1				◆	
	Zembs1				◆	
	Zembs2				◆	
	Bromwasser1					◆
	Fallgraben1					◆
	Ischert1					◆
	Ischert2					◆
	Ischert3					◆
	Ischert4					◆
	Ischert5					◆
	Lachter1					◆
	Lachter2					◆
	Lachter3					◆
	Laufgraben1					◆
	Laufgraben2					◆
	Laufgraben3					◆
	Laufgraben4					◆
	Lutter1					◆
	Lutter2					◆
	Trulygraben1					◆
	Trulygraben2					◆
Trulygraben3					◆	
Vieil Ergelsenbach1					◆	
Moder9			◆			
Sauer 7			◆			
Cours d'eau collines lat. argilo-limoneux	Andlau7		◆			

Tableau 5 : Comparaison de la variabilité des classes de rivières de la typologie du CEREG et de celle de l'Agence dans la plaine rhénane.

Typologie CEREG	Σ des coef. variat°	Typologie Agence	Σ des coef. variat°
Type A3	4.5	Piémont, cônes ...	3.8
Type D1	4.6	Piémont, id. phréat.	4.8
Type D2	/	plaine id. phréat.	7.7
Type D3	8.6	Cours d'eau phréat.	13.3
Type D4	10.2		

## 3.2. EVALUATION DE LA TYPOLOGIE DES RIVIERES DE L' ENSEMBLE DE LA ZONE D'ETUDE, HORMIS CELLES DE LA PLAINE REIENANE

### 3.2.1. APPRECIATION D'ENSEMBLE

La comparaison de la carte de la typologie du CEREG (fig. 37) et de celle de l'Agence montre que, dans l'ensemble, il n'y a pas d'opposition majeure entre les deux systèmes typologiques. Dans les grandes lignes la typologie de l'Agence converge donc avec l'approche quantitative du CEREG.

C'est au travers des analyses statistiques effectuées par le CEREG par grandes régions naturelles prises individuellement, ainsi que par la sadorisation des rivières fondée sur l'évolution longitudinale de la puissance spécifique ou sur l'analyse des profils en long, qu'apparaissent à une échelle spatiale plus grande, un certain nombre de divergences. Ces divergences résultent :

Q d'un nombre plus grand de types et sous-types par rapport à la typologie de l'Agence : 18 types et sous-types, pour CEREG (le type D5 « défluents rhénans sub-actuels » compris), contre 13 types de l'Agence. Si globalement, les types des deux typologies se superposent, l'apparition de sous-types dans le schéma du CEREG induit une distorsion sensible ;

② de la localisation plus précise des transitions entre types.

L'ensemble des convergences et divergences sont discutées ci-après par grandes régions naturelles, en confrontant les cartes des deux typologies et en analysant le tableau 6.

### 3.2.2. LES VOSGES CRISTALLINES

➤ Type A1 : bonne correspondance avec les « cours d'eau et torrents de montagne ».

Divergences : - des différences au niveau des transitions ;  
- quelques tronçons mal classés : cours inférieur du Ruisseau d'Alfeld, cours supérieur de la Liepmette et de la Bruche, tous les torrents de tête de bassin des Hautes Vosges gréseuses.

➤ Type A2 : bonne correspondance avec les « cours d'eau des moyennes vallées des Vosges cristallines ».

Divergences : : des Mérences au niveau des transitions ;  
- des tronçons des Hautes Vosges gréseuses mal classés : Zorn, Mossig.  
- le CEREG distingue les sous-types « cours d'eau alluviaux intra-montagnards à énergie élevée et à dynamique limitée » (type A2a) des « cours d'eau alluviaux intra-montagnards à dynamique modérée » (type A2b). Cette distinction paraît nécessaire pour l'évaluation de la qualité du milieu physique des cours d'eau, en particulier en ce qui concerne le fond du lit et la dynamique latérale (berges et bancs). En effet, pour le sous-type A2a, la granulométrie est très grossière, les faciès d'écoulement sont essentiellement lotiques (rapides, seuils, plats, rarement des mouilles) et la dynamique latérale est faible, alors que pour le sous-type A2b la granulométrie est nettement moins grossière, les faciès d'écoulement sont typiquement de type seuil-mouille (seuils, mouilles, plats) et la dynamique latérale (sapements, dépôts) s'affirme clairement.

➤ Type **A3** : bonne correspondance dans l'ensemble avec les **u cours d'eau** de piémont, cônes alluviaux, glaciaires » (voir aussi supra paragraphe sur l'évaluation de la typologie des cours d'eau de la plaine rhénane).

Divergences : - des différences au niveau des **transitions** ;  
- quelques tronçons mal classés : l'**Ill** entre Mulhouse et **Colmar**, l'**Andlau** à hauteur de Stotzheim-Zellwiller ;

Notons que tous les cours d'eau de piémont ne présentent **pas nécessairement** une dynamique très active, surtout lorsqu'il s'agit de petits cours d'eau. **Ainsi**, la Weiss est (était) effectivement très dynamique au niveau du piémont de Vosges, car la surface de son bassin (donc le débit, et donc l'énergie) est importante (169 **km<sup>2</sup>** à la confluence avec la Fecht), **mais** cela n'est pas le **cas** pour les petits cours d'eau de piémont dont la surface est nettement moindre (Strengbach, Horgiessen...). Ces derniers seraient donc à classer dans un autre type : vraisemblablement **A2a** ou **A2b**.

### 3.2.3. LES VOSGES GRÉSEUSES

➤ Type **B1** : n'apparaît pas dans la typologie de l'Agence.

Même **si** les tronçons de rivières classés dans ce type sont généralement courts, il est **à** noter qu'ils sont nombreux, **car** ce sont des **drains** d'ordre 1, et qu'ils ont des caractéristiques bien définies. Bien que les cours d'eau de tête soient fréquemment négligés par les gestionnaires, il faut souligner qu'ils présentent une grande sensibilité **à certaines** activités humaines comme la sylviculture. Cette question est d'ailleurs particulièrement sensible **dans** les Basses Vosges gréseuses (Thiébaud-George et al., 2001). Plus généralement, les **drains** de tête de bassin ont un rôle important car **ils** assurent **la** continuité fonctionnelle entre les processus hydro-géomorphologiques des versants et des cours d'eau alluviaux situés plus à l'aval.

➤ Type **B2** : bonne correspondance avec les **u cours d'eau** des hautes et moyennes vallées des Vosges gréseuses ».

Divergences : - des différences au niveau des transitions ;  
- non prise en compte par l'Agence des types de **têtes** de bassin des **Hautes** Vosges gréseuses (**A1** et **A2a**) et des Basses Vosges gréseuses (**B1**).

➤ Type **B3** : très bonne correspondance avec les **u cours d'eau** sur cônes sablo-graveleux d'Alsace du Nord ».

Divergences : - cours moyen de la **Moder**, qui est classé par l'Agence dans le type **u cours d'eau** de collines et plateaux argilo-limoneux, plaines d'accumulation », alors que la Moder traverse dans ce secteur les formations **pliocènes** de la Forêt de **Haguenu** ;  
- au niveau des **sous-types** : nous différencions franchement les **lits incisés** (**sous type B3b**) des **lits non incisés** (**sous type B3a**). Cette distinction nous paraît importante pour l'évaluation de la qualité du milieu physique des cours d'eau **car**, pour les **lits incisés**, le lit majeur est nettement plus étroit, la dynamique latérale est plus active et le fonctionnement hydrologique peut traduire d'importants échanges avec la nappe phréatique locale (**Gresse, 2000**) ;  
- notons que le fait que l'Agence ait sectorisé l'Eberbach en **2** types, **alors** que le CEREG en distingue cinq, est un **cas** isolé qui se trouve rarement sur d'autres rivières.

### 3.2.4. LES COLLINES ET PLATEAUX MARNO-CALCAIRES ET LOESSIQUES

➤ Type C1 : correspondance assez bonne avec les « cours d'eau sur cailloutis du Sundgau ».

Divergences : - des différences au niveau des transitions ;  
- d'autres cours d'eau que ceux des cailloutis du Sundgau sont compris dans ce type: Sultzbach amont, Mosselbach, Eberbach amont. Ce sont des lits présentant également une granulométrie relativement élevée. Plus généralement il ne semble pas nécessaire de distinguer particulièrement les cours d'eau drainant les cailloutis rhénans tertiaires du Sundgau.

➤ Type C1a : il s'agit d'un sous-type très particulier, qu'il semble néanmoins opportun de prendre en compte en raison de son fonctionnement hydro-géomorphologique très différencié : rivière à énergie élevée et à dynamique latérale très importante en raison de mouvements néo-tectoniques récents.

➤ Type C2 : assez bonne correspondance avec les « cours d'eau de collines et plateaux argilo-limoneux, plaines d'accumulation ».

Divergences : - des différences au niveau des transitions ;  
- quelques différences de classement: Soulabach amont, Mosselbach, Eberbach amont.

☛ De façon générale, il semble important de distinguer, parmi les cours d'eau des collines et plateaux marno-calcaires et loessiques, ceux qui présentent un chenal graveleux (type C1) de ceux dont le lit est exclusivement argilo-limoneux (type C2). En effet, cette différence sédimentologique induit des divergences très nettes pour les faciès d'écoulement (séquences seuils-mouilles pour le type C1, ce qui n'est pas le cas pour le type C2), pour la dynamique des chenaux (dynamique plus active quand le fond du lit est graveleux car le transit des sédiments grossiers entraîne une accélération du sapement des berges concaves), ainsi que pour les biocénoses (faune des poissons, habitat des invertébrés...).

↳ Type C2a : ce sous-type est une subdivision des « cours d'eau de collines et plateaux argilo-limoneux, plaines d'accumulation ». Il nous paraît utile de le distinguer car cet ensemble représente en fait une classe intermédiaire entre les types B2 et C2. Il serait donc réducteur de le rattacher tel quel à l'un de ces deux types.

➤ Type C' : Ce type, dans la classification du CEREG, est un décalque du type de même dénomination de l'Agence. Il n'a donné lieu qu'à très peu de mesures et d'investigations (exclusivement les sites Ill, Iarguel) car de tels milieux sont très peu représentés en Alsace.

#### **4. CONCLUSION ET PROPOSITION D'AXES D'AMÉLIORATION DE LA TYPOLOGIE DE L'AGENCE**

L'approche statistique mise en œuvre par le CEREG a permis de faire apparaître, sur des bases quantitatives et les plus objectives possibles, une typologie hydromorphologique fonctionnelle des rivières de la bordure alsacienne du Rhin Supérieur. La sectorisation des cours d'eau sélectionnés a permis par la suite de « linéariser » les résultats de cette typologie.

Il ressort de la confrontation des typologies de l'Agence et du CEREG que celle de l'Agence, de type « expert », est globalement satisfaisante, puisqu'elle rejoint assez largement les résultats du CEREG. Des distorsions apparaissent, pour l'essentiel, au niveau des transitions entre les tronçons homogènes, ainsi que des sous-types proposés par le CEREG. Ces derniers ne nous paraissent cependant pas accessoires puisqu'il s'avère, d'après nos résultats, que leur prise en compte permettait d'améliorer l'utilisation de l'outil d'évaluation de la qualité du milieu physique des cours d'eau. En effet, le fonctionnement hydromorphologique des sous-types proposés est sensiblement divergent et doit être différencié par les gestionnaires.

Compte tenu de ces résultats, il paraît utile d'intégrer les précisions (types, sous-types et transitions) apportées par le CEREG dans la typologie de l'Agence. Si ces modifications peuvent aisément être réalisées sur les rivières sélectionnées par le CEREG, elles demanderaient en revanche des développements additionnels pour pouvoir être appliquées aux cours d'eau non étudiés par le CEREG. Ces développements pourraient être les suivants, dans un ordre d'intérêt décroissant :

① sectoriser les cours d'eau selon le gradient longitudinal de la puissance spécifique, l'évolution longitudinale de la morphologie du fond de vallée et des régions naturelles parcourues pour la rivière. Cette approche est globalement très pertinente car elle facilite les rapprochements entre tronçons homogènes. En effet, elle tient compte du débit et non uniquement de la pente. Cependant, cette méthode est également la plus lourde : environ deux jours par km<sup>18</sup> d'eau (hors la reconnaissance de terrain complémentaire qui reste indispensable). De plus, des variables géomorphologiques additionnelles sont nécessaires : sinuosité, qui est facilement accessible à partir des cartes, et rapport largeur/profondeur. Cette dernière variable peut être appréciée par des visites rapides sur le terrain, ou par le type de charge sédimentaire fournie par l'aire de drainage (collines et plateaux marno-calcaires et ioessiques : charge dominante argilo-limoneuse, d'où  $W/M = 8$  ; Vosges gréseuses : charge dominante sableuse, d'où  $W/D \approx 8-11$  ; Vosges cristallines : charge dominante graveleuse, d'où  $W/D \approx 10-15$ , voire **nettement plus**) ;

② sectoriser les cours d'eau à partir de l'analyse de profils en long, de l'évolution longitudinale de la morphologie du fond de vallée et des régions naturelles parcourues par la rivière ;

③ inspecter sur le terrain les cours d'eau supplémentaires à classifier, après l'étude, à partir de cartes topographiques et géologiques, de l'évolution longitudinale de la morphologie du fond de vallée et des unités naturelles parcourues.

Notons que dans les deux premières approches, des inspections rapides de terrain pour valider les résultats des sectorisations obtenues seraient nécessaires. Dans tous les cas, les visites sur le terrain doivent être menées par des hydro-géomorphologues expérimentés. En effet, l'interprétation du fonctionnement morphodynamique d'une cours d'eau est souvent délicate et nécessite d'intégrer des aspects très variés de ces deux disciplines (Doms et "home, 1996), ainsi d'ailleurs que des éléments d'hydraulique.

Plus généralement, voici les principales variables hydro-géomorphologiques quantitatives que nos analyses ont permis d'identifier et de hiérarchiser :

- Q l'énergie ;
- ② la morphologie du fond de vallée ;
- la dynamique latérale des lits fluviaux ;
- ④ la sinuosité ;
- ⑤ le rapport largeur/profondeur du lit mineur.

La variable qualitative « **type** d'unité naturelle drainée » quant à elle, apparaît implicitement à un niveau supérieur de cette hiérarchie. En effet, le **type** d'unité naturelle drainée conditionne en grande partie l'énergie et la morphologie du fond de vallée. En outre, par le biais de la nature et de l'abondance de la charge sédimentaire, cette variable exerce également un contrôle direct sur la mobilité latérale des chenaux, la sinuosité et le rapport largeur/profondeur. Notons que cette variable a précisément été mise en exergue lors de la première étape de la régionalisation hydro-géomorphologique effectuée.

Par ailleurs, la prise en compte de facteurs géomorphologiques comme les mouvements néo-tectoniques (terrasse de la Forêt de Haguenau, bordure méridionale du fossé tectonique de Dannemarie, bordure occidentale du Ried de l'Andiau...) et les héritages géomorphologiques (accumulations fluvioglaciales dans les fonds de vallée des Vosges cristallines et, surtout, paléodynamique post-würmienne et holocène dans la plaine rhénane) s'est avérée essentielle lors de l'interprétation des résultats, notamment ceux afférents au réseau hydrographique, très complexe, de la plaine rhénane.

Enfin, il n'est pas inutile de souligner qu'il est primordial d'utiliser le schéma typologique proposé avec prudence. En effet, le domaine de validité de cette typologie se limite à l'évaluation de la qualité du milieu physique des cours d'eau. En conséquence, toute utilisation de cette typologie pour un autre objectif pourrait conduire, en l'absence d'une justification argumentée, à des conclusions non fondées. En particulier, les restaurations « lourdes » de rivières (celles qui dépassent les simples opérations d'amélioration de l'état des berges : modification de la géométrie du chenal, de la pente...) demandent dans tous les cas, pour obtenir les résultats escomptés à moyen et à long terme, des études hydro-géomorphologiques spécifiques. Comme le soulignent Montgomery et Buffington (1998), une classification de rivières n'est pas la panacée. Ce n'est qu'un outil parmi d'autres pour gérer les cours d'eau. Utile en première approche à une échelle relativement petite (espace étendu), une typologie de rivières ne fournit qu'une image simplifiée et nécessairement réductrice de la complexité spatio-temporelle des processus hydro-géomorphologiques régissant la dynamique des organismes fluviaux.

**BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE**

- Agence de l'Eau Rhin-Meuse, DIREN-Alsace, Office National des Forêts, 20** & Qualité du milieu physique de l'iii. Campagne 1998-1999, 34 p. + ann.
- Agence de l'Eau Rhin-Meuse, DIREN-Alsace, Office National des Forêts, 20** Wb. Qualité du milieu physique de la Largue. Campagne 1998-1999, 19 p. + ann.
- ASTRADE L. & BRAVARD JP., 1999. Energy gradient and geomorphological processes along a river influenced by neotectonics (the Saône river, France). *Geodinmica Acta*, 12, 1 pp. 1-10.
- BAGNOLD RA., 1966. An approach to the sediment transport problem from general physics. *U. S Geological Survey Professionnal Paper*, 422 L, 37 p.
- BERNOT V., CALLAND V., BRAVARD JP. & FOUSSADIER R., 1996. La sectorisation longitudinale du Vidourle (Gard-Hérault) : une méthode appliquée à la gestion en Wounemeniale de l'espace fluvial méditerranéen. *Revue de Géographie de Lyon*, 4, pp. 323-339.
- BERNOT V. & CREUZE DES CHATELLIERS D., 1998. Etude de l'adaptation de la méthode de sectorisation mise au point sur le Vidourle à d'autres cours d'eau du bassin Rhône-Méditerranée-Corse. *Rapport final de l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse A.R.A.L.E.P.B.P.*, 63 p. + ann.
- BRGM, 1972. Notice de la carte géologique au 1/50.000<sup>e</sup> de Coimar-Artolsheim. *B.R.G.M., Orléans*, 59 p.
- CARBIENER R. 1970. Un exemple de type forestier exceptionnel pour l'Europe occidentale : la forêt du lit majeur du Rhin au niveau du fossé rhénan (*Fraxino-Ulmetum*). intérêt écologique et biogéographique. **Comparaison à d'autres forêts thermophiles.** *Vegetatio*, pp. 96-148.
- CARBIENER R., 1983a. Le grand Ried central d'Alsace : écologie et évolution d'une zone humide d'origine fluviale rhénane. *Bull. Ecol.*, 14, 4, p. 249-277.
- CARBIENER R., 1983b. Brunnenwasser. *Encyclopédie de l'Alsace. Ed. Publitotal*, 2, pp. 891-900.
- CARLIER M., 1986. Hydraulique & néraie et appliquée. *Eyrolles, Collection de la Direction des Erudes et Recherches d'Electricité de France*, 565 p. + ann.
- COHEN P., 1998. Régionaibation de l'habitat physique du poisson. Approche multi-scalaire et application au bassin de la Loue, France. *Thèse de Doctorat, Université Claude Bernard - Lyon1, CEMGREF, Groupement de Lyon, Division Biologie des Ecosystèmes Aquatiques, Laboratoire d'Hydroécologie Quantitative*, 266 p.
- COHEN P., ANDRIAMAHEFA H. & WASSON J.G., 1998. Towards a regionalization of aquatic habitat : distribution of mesohabitats at the scale of a large basin. *Regulated Rivers - Research and Management*, 14, pp. 3914.
- COLLIER KJ., 1992. Assessing river stability: use of the Pfankuch method. *Head Office, Department of Conservation, Science and Research Internal Report No 131*, 17 p.
- CUPP C.E., 1989. Identifying spatial variability of stream characteristics through classification. *MS Thesis, University of Washington, Seattle*, 92 p.
- DEMORTIER G., GOETGHEBEUR P. & AQUASCOP, 1996b. Outil d'évaluation de la qualité du milieu physique des cours d'eau. Test sur la Meuse et le Rupt de Mad. Tome 1. *Agence de l'Eau Rhin-Meuse, AQUASCOP*, 131 p.
- DOWNS P.W., 1995. River Channel classification for Channel management purposes. In: GURNELL A. & PETTS G. (Eds), Changing river channels. *John Wiley & Sons Ltd*, pp. 347-365.
- DOWNS P.W. & THORNE CR., 1996. A geomorphological justification of river Channel reconnaissance surveys. *Transactions of the Institute of British Geographers*, pp. 455-468.
- FERGUSON R., 1981. Channel form and Channel changes. In: LEWIN J., *British Rivers, George Allen & Unwin*, pp. 90-125.
- HEIDMA " F. SCHIRMER R. & PICHON F., 1998. Typologie des cours d'eau du bassin Rhin-Meuse. Compléments et **validation** *Atelier d'Ecologie Rurale et Urbaine, Agence de l'Eau Rhin-Meuse*, 62 p.
- HIRTH C., 1971. **Eléments** d'explication à la formation des Rieds ello-rhénaux au nord de Colmar du début du post-glaciaire à la canalisation du Rhin au XI<sup>e</sup> siècle. *Bulletin de la Société d'Histoire Nahuelle de Colmar*, 54, pp. 21-44,

- KERSHNER J.L., SNIDEH W.M., TURNER D.M. & MOYLE P.B., 1992. Distribution and sequencing mesohabitats : are there differences at the reach scale ? *Rivers*, 3, 3, pp. 179-190.
- KNIGHTON A.D. & NANSON G.C., 1993. Anastomosis and the continuum of Channel pattern. *Emth Sinface Processes and Landforms*, 18, pp. 613-625.
- LEOPOLD L.B., WOLMAN M.G. & MILLER J.P., 1964. Fluvial processes in geomorphology. *Ed W. H. Freeman and Company*, 522 p.
- MAIRE G. et SANCHEZ-PEREZ J.M., 1992. influence des aménagements hydrauliques du Rhin sur le fonctionnement hydrologique des f&s riveraines d'Alsace : l'exemple du secteur de l'île de Rhinau. *Bulletin de la Société Industrielle de Mulhouse*, 824, pp. 9-20.
- MONTGOMERY D.R. & BUFFINGTON J.M., 1998. Channel processes, classification, and response. In, NAIMAN R.J. & BLBY R.E. (Eds), River ecology and management. **Lessons from the Pacific Coastal Ecoregion**. Springer, pp. 1342.
- MOSLEY M.P., 1981a. Semidetenninate hydraulii geometry of river channels, South Island, New Zealand. *Earth Surface Processes and Landfom*, 6, pp. 127-137.
- NANSON G.C. & KNIGHTON A.D., 19%. Anabranhchg rivers : their cause, character and classification. *Earth Surface Processes and Landforms*, 21, pp. 217-239.
- NEWSON M.D., CLARK M.J. SEAR D.A. & BROOKES A., 1998. The geomorphological basis for classifying rivers. *Aquatic Conservation -Marine and Freshwater Ecosystems*, 8, pp. 415-430.
- ROSGEND.L., 1996. Appiied nver morphology. *Wildand Hydrology, Colorah*, 390 p.
- RUST B.R., 1978. A classification of alluvial Channel systems. In. MLLW A.D. (Ed), Fluvial Sedimentology. **Canadian Society of Petroleum Geologist Memoir**, 5, pp. 187-198.
- SCHMITT L., 1995. Approche méthodologique pour une restauration des anciens bras du Rhin. *Mémoire de Maîtrise, UFR de Géographie de Sirasbourg, ULP, CEREG VRA 95 CNRS*, 73 p. + ann.
- SCHMITT L., MAIRE G. & HUMBERT J., 2000. Typologie hydro-gbmorphologique des cours d'eau : vers un modèle adapté à la gestion du milieu physique des rivières du versant sud-occidental du fossé rhénau. *Revue de Géographie de Lyon*, 75, 4, pp. 347-363.
- SCHMITT L., MAIRE G. & HUMBERT J., 2001. La puissance fluviale : définition, intérêt et limites pour une typologie hydro-géomorphologique de rivières. *Zeitschriifia Geomotphologie*, 45, 2, pp. 201-224.
- SCHUMM S.A., 1960. The shape of alluvial channels in relation to sediment type. *US. Geological Survey Professional Paper 352-8*, pp. 17-30.
- SCHSJMM S.A., 1968. Speculations concerning paleohydrologic controls of terrestrial sedimentation. *Geological Society of America Bulletin*, 79, pp. 1573-1588.
- SCHUMM S.A., 1977. The fluvial system. *John Wiley & Sons*, 338 p.
- SCHUMM S.A., 1985. Fattens of alluvial rivers. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 13, pp. 5-21.
- SCHUMM S.A., DUMONT J.F. & HOLBROOK J.M., 2000. Active tectonics and alluvial rivers. *Cambridge University Press*, 275 p.
- SIMLER L., VALENTIN J & DUPRAT A., 1979. La nappe phréatique de la plaine du Rhin en Alsace. *Universiü Louis Pasteur, Instiüt de Géologie, CNRS, Mémoire No 60*, 266 p. + 2 cartes. disponible chez BOUCiiii
- SIMONSON T.D., LYONS J. & KANEHL P.D., 1994. Quantifying f i h habitat in streams : transect spacing, sample size, and a proposed framework *North American Journal of Fisheries Management*, 14, pp. 6ü7-615.
- SMITH D.G. & SMKH N.D., 1980. Sedimentation in anastomosed river systems : examples from alluvial vaileys near B d , Alberta. *Journal of Sedimentaty Pefrology*, 50, 1, pp. 157-164.
- STRAHLER A.N., 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions, American Geophysical Union*, 38, 6, 913-920.
- WOLMAN M.G. & MILLER J.P., 1960. Magnitude and frequency of forces in geomorphic processes. *Journal of Geology*, 68, pp. 54-74.
- ZUMSTEIN J.F. & GOETGHEBEUR P., 1994. Typologie des rivières du bassin Rhin-Meuse. *Agence de l'Eau Rhin-Meuse*, 6 p. + 1 carte.