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

RAPPORT FINAL

Octobre 2001

Laurent SCHMITT

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

ETUDE REALISEE POUR LE COMPTE DE L'AGENCE DE L'EAU RHIN-MEUSE

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, **nous** tenons à remercier les personnes qui ont bien voulu nous faire **part** de leurs **connaissances** et de leur expérience dans les différents thèmes abordés par cette étude et **les** méthodes **mises** en oeuvre :

M. G. **MAIRE** (CEREG, **Strasbourg**)

M.J. HUMBERT (CEREG, **Strasbourg**)

M. **P.** NOBELIS (institut de Recherche de Mathématique Avancée, **Strasbourg**)

Mme M. **TREMOLIERES** (CEREG, Strasbourg)

Mme G. THIEBAUS (CREUM, Metz)

M.J.-P. BRAVARD (Institut de Recherches Géographiques, **Lyon**)

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	3
SOMMAIRE	4
LISTE DES FIGURES	7
LISTE DES TABLEAUX	9
1. INTRODUCTION	11
2. ELABORATION DE LA TYPOLOGIE CEREG	12
2.1. CADRE D'ÉTUDE ET ORIENTATIONS MÉTHODOLOGIQUES GÉNÉRALES	12
2.1.1. La zone d'étude	12
2.1.2. De la prise en compte des expériences du passé	12
2.1.3. ... aux orientations méthodologiques	15
2.2. PRÉSENTATION DES DONNÉES ACQUISES ET PREMIÈRE RÉGIONALISATION HYDRO-GÉOMORPHOLOGIQUE ..	16
2.2.1. Constitution de la base de données	16
2.2.1.1. Le positionnement des sites de mesure	16
2.2.1.1.1. Modalités de sélection des rivières	16
2.2.1.1.2. Définition et localisation des sites de mesure	18
2.2.1.2. Les variables prises en compte dans la base de données hydro-géomorphologiques	18
2.2.1.2.1. Modalités des variables qualitatives	20
2.2.1.2.2. Description, mode d'estimation et séquences de faciès d'écoulement	21
2.2.1.2.3. Structuration de la base de données	21
2.2.2. Tendances hiérarchiques des variables hydro-géomorphologiques	23
2.2.2.1. Une Analyse en Composantes Principales (ACP)	23
2.2.2.1.1. Mise en forme des données	23
2.2.2.1.2. Résultats et première interprétation	23
2.2.2.2. Une CAH des variables quantitatives	24
2.2.2.2.1. Mise en forme des données	24
2.2.2.2.2. Résultats et interprétation	24
2.2.2.3. Une Analyse des Correspondances Multiples	26
2.2.2.3.1. Mise en forme des données	26
2.2.2.3.2. Résultats et première interprétation	26
2.2.2.4. Hiérarchie des variables hydro-géomorphologiques	27
2.2.3. Première régionalisation hydro-géomorphologique des rivières alsaciennes	28
2.2.3.1. Interprétation des cartes générées à partir de la base de données	28
2.2.3.3. Synthèse	33
2.3. SPÉCIFICATION DE LA PREMIÈRE RÉGIONALISATION HYDRO-GÉOMORPHOLOGIQUE	34
2.3.1. Typologie spécifique des rivières de la plaine rhénane	34
2.3.1.1. Introduction	34
2.3.1.1.1. Contexte de cette expertise spécifique	34
2.3.1.1.2. Cadre géographique de la présente expertise	34
2.3.1.1.3. Remarque concernant les défluent rhénans	36
2.3.1.2. Formation de la plaine rhénane. Evolution naturelle et évolution induite depuis la fin du Würm	36
2.3.1.2.1. Mise en place de la plaine rhénane	36
2.3.1.2.2. Evolution naturelle holocène de la plaine. Mise en place et fonctionnement du réseau hydrographique sub-actuel	38
2.3.1.2.2.1. Mosaïque longitudinale et transversale des principaux compartiments de la plaine	38
2.3.1.2.2.2. Problèmes de surimposition de cours d'eau	45
2.3.1.2.3. Evolution récente d'origine anthropique de la plaine et conséquences hydrologiques	46
2.3.1.2.3.1. Impacts de la correction du Rhin	46
2.3.1.2.3.2. Impacts de la canalisation du Rhin	48
2.3.1.2.3.3. Impacts des aménagements de l'ill	50
2.3.1.2.3.4. Les inondations actuelles dans la plaine rhénane et modes de circulation des eaux dans les défluent	50
2.3.1.2.3.5. Les échanges nappe-rivière	51
2.3.1.2.4. Fonctionnement hydrologique des défluent et paléa-défluent ello-rhénans : quelques précisions	54
2.3.1.2.4.1. Variations hydrologiques annuelles de quelques défluent ello-rhénans	55
2.3.1.2.4.2. L'exemple du fonctionnement hydrologique de l'Orchbach (données : Esteves, 1989)	57
2.3.1.2.4.3. Conclusion	61

2.3.1.2.5. Les rivières de la plaine rhénane : un réseau hydrographique au fonctionnement hydrogéomorphologique mal connu	63
2.3.1.2.6. Conclusion : méthodologies retenues.....	64
2.3.1.3. Approche statistique.....	65
2.3.1.3.1. Les sites de mesure de la plaine rhénane	65
2.3.1.3.2. Une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) de tous les sites retenus.....	66
2.3.1.3.2.1. Méthodologie.....	66
2.3.1.3.2.2. Résultats et interprétation	67
2.3.1.3.3. Une Analyse des Correspondances Multiples (ACM)	70
2.3.1.3.3.1. Méthodologie.....	70
2.3.1.3.3.2. Résultats et interprétation	71
2.3.1.3.3.3. Comparaison avec les résultats de la CAH	74
2.3.1.3.4. Une CAH spécifique des rivières autochtones de la plaine rhénane (défluent et paléo-défluent de l'III et du Rhin)	75
2.3.1.3.4.1. Méthodologie.....	75
2.3.1.3.4.2. Résultats et interprétation	76
2.3.1.3.5. Une CAH spécifique des rivières allochtones.....	79
2.3.1.3.5.1. Méthodologie.....	79
2.3.1.3.5.2. Résultats et interprétation.....	79
2.3.1.3.6. Conclusion de l'approche statistique	81
2.3.1.4. Approche qualitative : reconnaissance géomorphologique des rivières de la plaine rhénane	82
2.3.1.4.1. Nécessité d'une approche qualitative	82
2.3.1.4.2. Méthodologie	83
2.3.1.4.2.1. Les rivières inspectées	83
2.3.1.4.2.2. Les principales variables prises en compte	84
2.3.1.4.3. Résultats	85
2.3.1.4.4. Discussion et remarques	86
2.3.1.5. Typologie CEREG définitive des rivières de la plaine rhénane	88
2.3.1.5.1. Caractérisation des types de lits.....	88
2.3.1.5.2. Appréciations de la variabilité de chaque type de rivières	96
2.3.1.5.2.1. Remarque générale	96
2.3.1.5.2.2. Appréciations spécifiques à chacun des types.....	96
2.3.2. Les cours d'eau des collines et plateaux marno-calcaires et loessiques	98
2.3.2.1. Méthodologie	98
2.3.2.2. Résultats et interprétation.....	98
2.3.3. Les cours d'eau des Vosges cristallines.....	101
2.3.3.1. Méthodologie	101
2.3.3.2. Résultats et interprétation.....	102
2.3.4. Les cours d'eau des Vosges gréseuses et de la terrasse pliocène de la Forêt de Haguenau.....	105
2.3.4.1. Méthodologie.....	105
2.3.4.2. Résultats et interprétation.....	106
2.3.5. Distinction entre les rivières alluviales des Vosges gréseuses et les rivières alluviales originaires des Vosges gréseuses, parcourant les collines marno-calcaires et loessiques.....	110
2.3.5.1. Méthodologie	110
2.3.5.2. Résultats et interprétation.....	110
2.3.6. Typologie résultante.....	113
2.3.6.1. Dénomination et caractérisation des types et sous-types de rivières	113
2.3.6.2. Appréciation de la variabilité et remarques concernant quelques particularités des types et sous-types de rivières.....	118
2.4. ÉTAPE 3 : DU SITE AU LINÉAIRE FLUVIATILE	121
2.4.1. Présentation de l'approche fondée sur la spatialisation de la puissance spécifique	121
2.4.1.1. Méthodologie	121
2.4.1.2. Résultats : l'exemple de l'Eberbach.....	123
2.4.2. Présentation et résultats de la méthode reposant sur l'analyse des profils en long des corridors fluviaux	124
2.4.3. Comparaison des deux méthodes de sectorisation.....	132
2.4.4. Séquences amont-aval de types de rivières dans les différentes régions naturelles.....	132
3. MISE EN ÉVIDENCE DES ASPECTS STRUCTURANTS DE LA TYPOLOGIE HYDROGÉOMORPHOLOGIQUE VIS-À-VIS DES BIOCÉNOSES AQUATIQUES ET RIVERAINES	133
3.1. LES MACROPHYTES AQUATIQUES	133
3.1.1. Les rivières de la plaine rhénane.....	133
3.1.1.1. Remarques générales concernant la qualité de l'eau des rivières de la plaine rhénane	133
3.1.1.2. Relations entre typologie hydro-géomorphologique et communautés végétales.....	136

3.1.1.2.1. Les rivières allochtones du piémont des Vosges méridionales et moyennes, à dynamique latérale importante (Type A3)	136
3.1.1.2.2. Les rivières allochtones de la zone médiane, à dynamique modérée (Type D1) et les rivières allochtones de la plaine rhénane septentrionale, à dynamique faible (Type D2)	136
3.1.1.2.3. Les défluent et paléo-défluent ellans, à dynamique modérée (Type D3)	137
3.1.1.2.4. Les paléo-défluent eilo-rhénans, à dynamique faible ou nulle, du sous-type D4a.....	137
3.1.1.2.5. Les paléo-défluent sello-rhénans, à dynamique faible ou nulle, du sous-type D4b.....	138
3.1.2. Les rivières des Vosges gréseuses et des collines marno-calcaires et loessiques du Nord de l'Alsace	139
3.1.2.1. Remarques générales.....	139
3.1.2.2. Relations entre typologie hydro-géomorphologique et communautés végétales.....	141
3.1.2.2.1. Les cours d'eau de tête de bassin des Basses Vosges gréseuses	141
3.1.2.2.2. Les rivières alluviales des Vosges gréseuses	141
3.1.2.2.3. Les rivières alluviales originaires des Vosges gréseuses, paraurant les collines marno-calcaires et loessiques.....	141
3.2. LES MACROINVERTÉBRÉS BENTHIQUES	142
3.3. LES POLYPTONS	143
3.4. LES OISEAUX	144
3.4.1. Remarques générales.....	144
3.4.2. Relations entre typologie hydro-géomorphologique et communautés avifaunistiques	144
3.5. L'ARIPSYLVE	145
3.6. CONCLUSION	146
4. EVALUATION SCIENTIFIQUE DE LA TYPOLOGIE DE L'AGENCE.....	147
4.1. EVALUATION DE LA TYPOLOGIE DES RIVIÈRES DE LA PLAINES RHÉNANES	147
4.1.1. Appréciation d'ensemble.....	147
4.1.2. Points particuliers.....	147
4.2. EVALUATION DE LA TYPOLOGIE DES RIVIÈRES DE L'ENSEMBLE DE LA ZONE D'ÉTUDE, HORMIS CELLES DE LA PLAINES RHÉNANES	150
4.2.1. Appréciation d'ensemble.....	150
4.2.2. Les Vosges cristallines.....	150
4.2.3. Les Vosges gréseuses	151
4.2.4. Les collines et plateaux marno-calcaires et loessiques.....	152
5. CONCLUSION ET PROPOSITION D'AXES D'AMÉLIORATION DE LA TYPOLOGIE DE L'AGENCE	156
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	158

ANNEXES

ANNEXE 1 : PERTINENCE DE LA METHODE DES ECOREGIONS POUR LA DEFINITION D'UNE TYPOLOGIE REGIONALE. ETUDE DE FAISABILITE

ANNEXE 2 : CARACTERISATION DE LA MAJORITE DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE D'ALSACE

ANNEXE 3 : CARTES GENEREES A PARTIR DE LA BASE DE DONNEES HYDROGEOGRAPHIQUE

ANNEXE 4 : SECTORISATIONS DES COURS D'EAU SELECTIONNES

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Pncipales régions naturelles de la bordure alsacienne du fossé rhénan.	14
Figure 2 : Carte de localisation des rivières sélectionnées et des 187 sites de mesure.	17
Figure 3 : Dendrogramme de la Classification Ascendante Hiérarchique des 25 variables quantitatives prises en compte pour l'analyse des données.....	25
Figure 4 : Exemple de carte générée à partir de la base de données hydro-géomorphologiques: la puissance spécifique à pleins bords des 187 sites de mesure (estimation d'après la formule de Manning-Strickler). ..29	
Figure 5 : Regroupements de cours d'eau apparaissant dans le plan factoriel des deux premières composantes de l'ACM.....	
Figure 6 : Regroupements de cours d'eau apparaissant dans le plan factoriel des deuxièmes et troisièmes composantes de l'ACM	32
Figure 7 : Profil en travers du lit majeur "intra-digues" du Rhin à hauteur de Sundhouse-Niederhausen en 1889.	
Figure 8 : Profil en long diachronique du Rhin de Bâle à Maxau à trois stades différents de l'évolution post-würmienne et contemporaine du lit du fleuve.....	40
Figure 9 : Transition entre la terrasse würmienne et les formations géomorphologiques du Grand Ried Central d'Alsace.	43
Figure 10 : Les unités naturelles du Grand Ried Central d'Alsace	44
Figure 11 : Transect hydro-géomorphologique du Grand Ried Central d'Alsace.....	44
Figure 12 : Variation hebdomadaire du toit de la nappe phréatique sur la rive droite du Rhin à Neuenburg depuis 1922.	
Figure 13 : Variation hebdomadaire du toit de la nappe phréatique sur la rive droite du Rhin à Wittenweier depuis 1922.....	49
Figure 14 : Evolution hebdomadaire depuis avril 1953 de la cote du toit de la nappe d'un piézomètre situé à l'Ouest du bief d'amenée de l'usine hydro-électrique de Marckolsheim, Est-Sud-Est d'Artzenheim	49
Figure 15 : Comparaison entre les régimes de l'III et du Rhin et les régimes respectifs de leur nappe phréatique associée.....	
Figure 16 : variations hydrologiques de l'III à Colmar-Ladhof, du Rhin à Strasbourg et de quelques défluent et paléodéfluent à alimentation phréatique ou semi-phréatique du Ried central d'Alsace. Période Février 1982 - Février 1983.....	57
Figure 17 : Exemple de fonctionnement hydrologique d'un paléo-défluent alluvial à alimentation mixte évacuant pendant les inondations des eaux de débordement de l'Orchbach à Illhaeusern.....	58
Figure 18 : Relation entre le niveau piézométrique dans le Bois de l'Orchbach et le débit de l'Orchbach à Illhaeusern.	
Figure 19: Décomposition d'un hydrogramme de crue de l'Orchbach à Illhaeusern (crue du 06/01/86 au 25/02/86).....	59
Figure 20 : Comparaison de l'hydrogramme de l'III à Colmar-Ladhof et de l'Orchbach à Illhaeusern durant l'année 1986.....	60
Figure 21 : Comparaison de l'hydrogramme de l'Orchbach amont et de l'Orchbach aval durant l'année 1986. ..61	
Figure 22 : Exemples de profils hydrologiques de l'Orchbach à différentes phases du cycle hydrologique de l'III.	
Figure 23 : Dendrogramme de la CAH des 52 sites de la plaine rhénane.	70
Figure 24 : Classes de cours d'eau apparaissant dans le plan factoriel formé par les deux premières composantes de l'ACM.	72
Figure 25 : Dendrogramme de la CAH des 32 sites localisés sur les défluent et paléo-défluent de la plaine rhénane.....	77
Figure 26 : Dendrogramme de la CAH des 19 sites localisés sur les rivières allochtones de la plaine rhénane....	80
Figure 27 : Profil en travers « schématique » de lits en cours de contraction par accumulation latérale de matière organique et de sédiments fins sur la(les) berge(s).	82
Figure 28 : Carte de la typologie CEREG des rivières de la plaine rhénane.	93
Figure 29 : Représentation schématique des deux principaux gradients de l'intensité de la dynamique fluviale dans la plaine rhénane.	94
Figure 30 : Exemples de quelques profils en travers des types de rivières de la plaine rhénane.....	95
Figure 31 : Dendrogramme de la CAH des 31 sites localisés sur les rivières des collines et plateaux margocalcaires et loessiques.	100
Figure 32 : Dendrogramme de la CAH des 71 sites localisés sur les rivières des Vosges cristallines.	104
Figure 33 : Dendrogramme de la CAH des 71 sites localisés sur les cours d'eau des Vosges gréseuses et des formations alluviales du Nord de l'Alsace.....	109

Figure 34 : Dendrogramme de la CAH distinguant les rivières alluviales des Vosges gréseuses des rivières alluviales originaires des Vosges gréseuses. parcourant les collines marno-calcaires et loessiques.....	112
Figure 35 : Sectorisation de l'Eberbach fondée sur le gradient longitudinal de la puissance spécifique.....	125
Figure 36 : Carte du classement des sites de mesure.....	128
Figure 37 : Carte de la typologie CEREG de l'ensemble de la zone d'étude.....	129

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Principales variables prises en compte et échelles spatiales de quelques méthodes de typologie et de sectorisation hydro-géomorphologique de cours d'eau.....	15
Tableau 2 : Variables évaluées pour les 187 sites de mesure intégrées dans la base de données et méthodes d'estimation correspondantes.....	19
Tableau 3 : Modalités des variables qualitatives et de la variable (« indice de mobilité par éNde diachronique »).....	20
Tableau 4 : Description simplifiée des faciès d'écoulement (unités morphodynamiques) mesurés en étiage dans le lit mineur ou le chenal d'étiage.....	22
Tableau 5 : Pourcentage de variance contenue dans les 15 premiers facteurs de l'ACP et interprétation des axes factorielles.....	24
Tableau 6 : Pourcentage de variance et interprétation des trois premiers facteurs de l'ACM.....	26
Tableau 7 : 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.....	27
Tableau 8 : Comparaison de quelques caractéristiques hydrologiques et morphométriques de la Scheer dans sa traversée de la terrasse d'Erstein entre le Wittm moyen et aujourd'hui.....	45
Tableau 9 : Répartition par cours d'eau et par unités naturelles des 52 sites de mesure.....	66
Tableau 10 : Variables quantitatives prises en compte pour l'élaboration de la typologie des rivières de la plaine rhénane et mode d'estimation.....	67
Tableau 11 : Valeurs moyennes et coefficients de variation des variables des quatre types de lits obtenus à partir de la CAH.....	70
Tableau 12 : Modalités des 6 variables qualitatives additionnelles.....	71
Tableau 13 : Valeurs moyennes et coefficients de variation des variables des deux types de lits obtenus à partir de la CAH des défluent et paléo-défluent ello-rhéna.....	78
Tableau 14 : Rivières de la plaine rhénane inspectées qualitativement au cours de l'automne 2000.....	84
Tableau 15 : Présentation synthétique des résultats de la reconnaissance qualitative de terrain au cours de l'automne 2000.....	85
Tableau 16 : Valeurs brutes, valeurs moyennes et variabilité des données des 52 sites de mesure classés dans les 5 types de rivières de la typologie de la plaine rhénane du CEREG	90
Tableau 17 : Principales caractéristiques hydro-géomorphologiques des 5 groupes de rivières de la plaine rhénane à partir des sites de mesure et de la reconnaissance qualitative.....	91
Tableau 18 : Valeurs moyennes, minima, maxima et coefficients de variation des variables des groupes « lits à dynamique moyenne ou modérée » et « lits à dynamique très active et à granulométrie importante » parmi les rivières de collines et plateaux marno-calcaires et loessiques.....	100
Tableau 19 : Valeurs moyennes, minima, maxima et coefficients de variation des variables des sous-groupes « rivières à granulométrie faible et à dynamique modérée » et « rivières à granulométrie et à dynamique moyennes ».....	101
Tableau 20 : Valeurs moyennes, minima, maxima et coefficients de variation des variables des 4 ensembles (groupe et sous-groupes) de cours d'eau des Vosges cristallines.....	105
Tableau 21 : Valeurs moyennes, minima, maxima et coefficients de variation des variables des cinq ensembles de rivières individualisés dans les Basses et Hautes Vosges gréseuses.....	109
Tableau 22 : Valeurs moyennes, minima, maxima et coefficients de variation des variables des rivières alluviales des Vosges gréseuses et des rivières alluviales originaires des Vosges gréseuses, parcourant les collines marno-calcaires et loessiques.....	112
Tableau 23 : Classement des sites de mesure à l'issue de l'interprétation des analyses statistiques.....	115
Tableau 24 : Dénomination des types et sous-types de rivières.....	116
Tableau 25 : Caractéristiques hydro-géomorphologiques des types et sous-types de rivières de la zone d'étude.....	117
Tableau 26 : Valeurs de quelques variables des cinq secteurs de l'Eberbach. estimées sur les sites de mesure. Les valeurs du deuxième secteur sont les moyennes des trois sites qu'il contient.....	123
Tableau 27 : Classement définitif des sites de mesure à l'issue de la sectorisation des rivières. Les sites soulignés ont été reclassés à l'issue de la sectorisation des rivières.....	127
Tableau 28 : Echelle de bio-indication phytosociologique basée sur la fréquence et l'occurrence des espèces dans chaque communauté végétale des cours d'eau de la plaine rhénane et variables physiques et chimiques.....	135
Tableau 29 : Relation entre la typologie hydro-géomorphologique et l'échelle de bio-indication phytosociologique de la plaine rhénane.....	138
Tableau 30 : Echelle de bio-indication phytosociologique basée sur la fréquence et l'occurrence des espèces dans chaque communauté végétale des cours d'eau des Vosges gréseuses et variables physiques et chimiques.....	138

Tableau 31 : 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.	149
Tableau 32 : Comparaison de la variabilité des classes de rivières de la typologie du CEREG et de celle de l'Agence dans la plaine rhénane.	150
Tableau 33 : 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.....	155

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 découlent, 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 naturel vis-à-vis duquel la qualité actuelle du milieu physique fluvial pourra être évaluée et qui sous-tendra 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 donné 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 Goetghebeur, 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., 1996 ; 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, doit, plus particulièrement, apporter un éclairage scientifique sur les points suivants :

- Tâche 1 : l'expertise proprement dite de la typologie proposée par l'Agence par confrontation aux résultats des recherches menées par ailleurs par le CEREG ;
- Tâche 2 : la pertinence de la méthode de dénnition des éco-régions mise au point au niveau national par les Agences pour la définition d'une typologie régionale de cours d'eau. Après la réalisation d'une étude de faisabilité sur cette question (annexe 1), il a été décidé d'un **commun** accord que cette tâche consisterait à expertiser de façon détaillée la typologie des rivières de la plaine rhénane (3è partie) ;
- Tâche 3 : la mise **en** évidence des aspects structurants de ces approches (typologie et éco-régions) vis-à-vis des biocénoses aquatiques ;
- Tâche 4 : la proposition d'axes d'amélioration de l'ensemble.

2. ELABORATION DE LA TYPOLOGIE CEREG

2.1. CADRE D'ETUDE ET ORIENTATIONS METHODOLOGIQUES GENERALES

2.1.1. LA ZONE D'ETUDE

La zone d'étude est, comme cela a été dit plus haut, le bassin français du Rhin Supérieur. Cet espace est composé de bassins d'affluents et de sous-affluents du Rhin et présente le double avantage de comprendre une superficie relativement faible (8.200 km²), ce qui autorise une analyse fine de son réseau hydrographique, et d'être malgré tout représentatif de l'ensemble du bassin Rhin-Meuse. En effet, sur les 13 classes de la typologie existante du bassin Rhin-Meuse, 11 types sont présents dans la zone d'étude. Cette diversité hydrographique s'explique, pour l'essentiel, par la variété de milieux géographiques qui la composent : contrefort septentrional du Jura calcaire, Vosges cristallines du Sud, piémont collinaire mamo-calcaire, Vosges gréseuses du Nord, terrasses et collines loessiques ou mamo-calcaires, cônes sableux du Nord de l'Alsace, macro-plaine alluviale rhénane (fig. 1).

2.1.2. DELA PRISE EN COMPTE DE SES EXPERIENCES DU PASSE ...

Il ressort de l'étude bibliographique effectuée, ainsi que des synthèses existantes (Mosley, 1987 ; Wasson, 1989 ; Naiman et al., 1992 ; Gumell et al., 1994 ; Downs, 1995 ; Kondolf, 1995 ; Schmitt, 1996 ; Thorne, 1997 ; Montgomery et Buffington, 1998 ; Naiman, 1998), divers points fondamentaux qu'il nous paraît important de développer ci-dessous.

a. Les méthodes de typologie hydro-géomorphologique s'avèrent particulièrement nombreuses. Cette variété d'approches correspond à différents objectifs, souvent liés à des problèmes de gestion spécifiques, à des contextes géographiques différenciés (types de milieux naturels, superficie de l'espace étudié, etc.), et le cas échéant, aux points de vue de diverses disciplines scientifiques.

b. Ces méthodes peuvent reposer sur l'intégration de diverses variables dont **certaines** sont toutefois plus communément **utilisées**: d'après le tableau 1, il s'agit de variables comme le type d'unité naturelle (géologie, relief, etc.), le tracé en plan, la pente, la morphologie du lit mineur et du fond de vallée et, de plus en plus, la puissance spécifique. Il apparaît effectivement que cette dernière variable joue un rôle essentiel en géomorphologie fluviale, à diverses échelles spatiales de perception, et qu'elle s'adapte bien à l'établissement de typologies hydro-géomorphologiques de cours d'eau (Ferguson, 1981 ; Nanson et Croke, 1992 ; Kondolf, 1995 ; Bernot et al., 1996 ; Bernot et Creuze des Chatelliers, 1998 ; Newson et al., 1998, Schmitt et al., 2001). Cherchant à sectoriser un fleuve côtier méditerranéen, le Vidourle, Bernot et al. (1996) aboutissent à des résultats comparables par deux méthodes de sectorisation très différentes : la première, très lourde, repose sur l'exploitation d'un important jeu de données d'ordre géomorphologique et biotique, alors que la seconde, nettement plus rapide, consiste à confronter la carte morphostructurale du bassin versant avec le diagramme de l'évolution longitudinale de la puissance spécifique calculée sur des tronçons de 1 km. Lorsque peu de données sont disponibles, cette dernière méthode peut donc permettre une

sectorisation de rivières, rapide et satisfaisante dans de nombreux cas. Ce type d'approche a été étendu par la suite à six cours d'eau représentatifs du bassin Rhône-Méditerranée-Corse en vue de proposer, par rapprochements entre les différents secteurs homogènes, une ébauche de typologie de rivières de ce bassin (Bemot et Creuzé des Chatelliers, 1998).

c. Partant du principe que les variables du système fluvial peuvent s'ordonner hiérarchiquement (Schumm et Lichty, 1965; Schumm, 1977), de plus en plus d'auteurs cherchent à élaborer des systèmes typologiques à échelles spatiales emboîtées (Lotspeich, 1980; Brussock et al., 1985; Frissel et al., 1986; etc.). Sur un plan pratique, ce type d'approche aboutit généralement à la détermination d'écorés'om à partir de variables-clés relatives au bassin versant comme la géologie, le relief, le climat ou l'occupation du sol. **Les** limites écorégionales peuvent être des discontinuités séparant des types de cours d'eau. De plus, la variation longitudinale des caractéristiques hydrologiques, géomorphologiques et biotiques de cours d'eau appartenant à des **écorégions** différentes peuvent être significativement différentes (Andriamahefa et Maiavoi, 1993; Wasson, 1996; Andriamahefa, 1999). **Les** échelles spatiales peuvent être relativement grandes, comme pour le travail de Cloots-Hirsch et Maire (1980) hiérarchisant les objectifs d'aménagement de la Gartempe (2.000 km²), ou nettement plus petites comme pour l'étude du CESAC qui porte sur la détermination des régions « hydrologiquement homogènes » de la France (Tabacchi, 1996; 550.000 km²), ou pour la détermination des **hrégions** de l'Union européenne (Union européenne et al., 2000; près de 10.000.000 km²).

d. Un schéma de classification de type « universel », comme celui de Rosgen (1994, 1996), permet effectivement de classer la majorité des lits fluviaux de la zone tempérée. Pour autant, chaque type de rivière ne présente pas nécessairement un fonctionnement & morphologique spécifique requérant un classement différencié (Miller et Ritter, 1996). Inversement, la diversité de dynamiques de lits fluviaux d'un espace donné, dont la prise en compte est essentielle dans le cadre de l'élaboration de principes de gestion, est souvent insuffisamment prise en compte en appliquant une classification de cette nature (Kondolf, 1995; Heritage et al., 1997; Brierley et Fryirs, 2000).

e. Face à ce type de limites, de nombreux auteurs tendent, au contraire, à privilégier des approches pragmatiques reposant sur l'étude détaillée, à diverses échelles spatiales, des rivières considérées (Cloots-Hirsch et Maire, 1980; Mosley, 1987; Otto, 1991; Corbonnois et Zumstein, 1994; Schmitt, 1996; Brierley et Fryirs, 2000). Ce type d'approche autorise, dans un second temps, la régionalisation de la dynamique hydro-géomorphologique des cours d'eau de la zone d'étude (Heritage et al., 1997; Brierley et Fryirs, 2000). En outre, Kondolf (1995) montre que les cas particuliers rencontrés sur le terrain sont souvent les plus instructifs car ils permettent éventuellement d'améliorer les schémas typologiques préexistants.

Figure 1 : Principales régions naturelles de la bordure alsacienne du fossé rhénan.

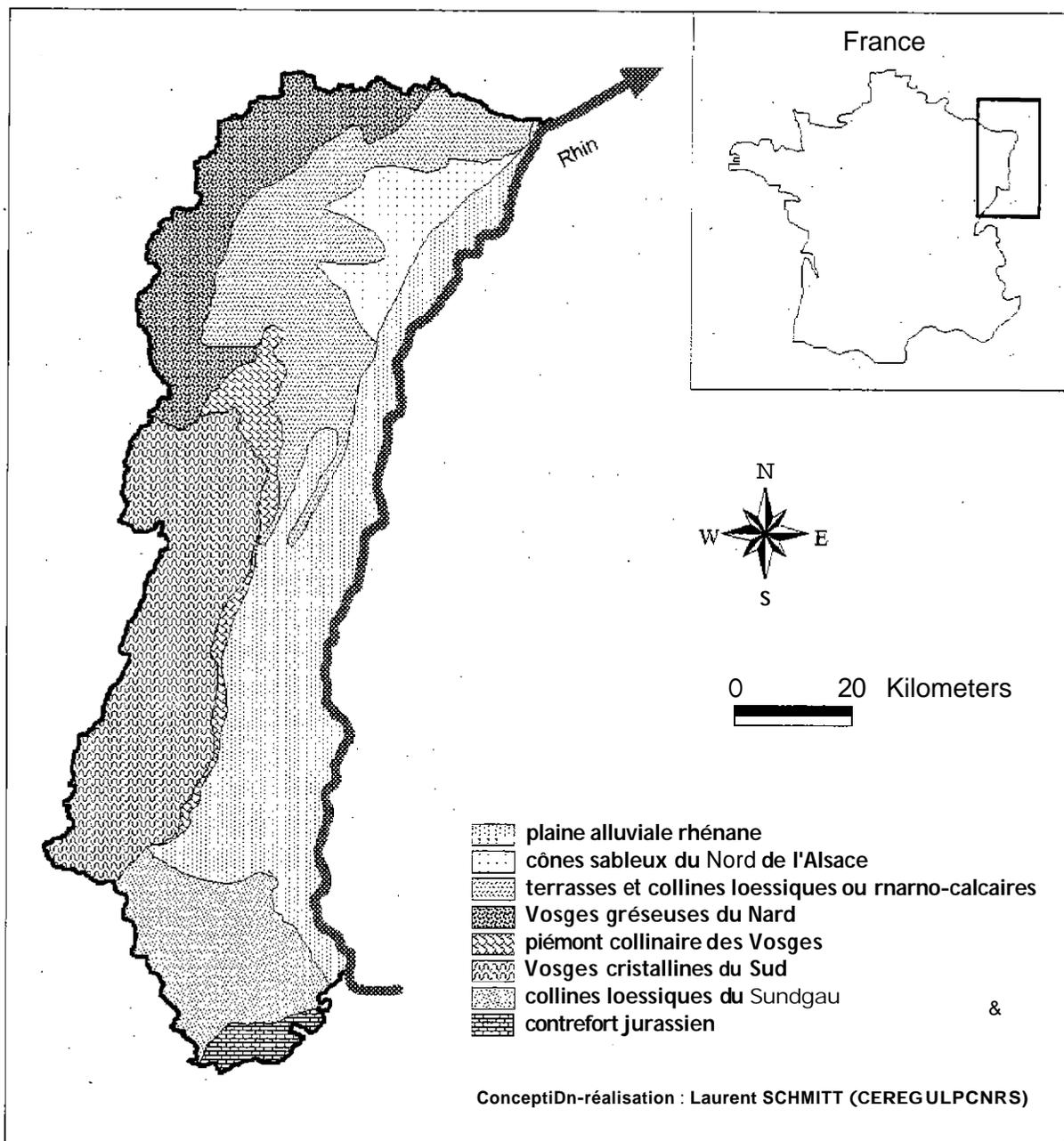


Tableau 1 : Principales variables prises en compte et échelles spatiales de quelques méthodes de typologie et de sectorisation hydro-géomorphologique de cours d'eau.

	variables										échelles spatiales (km ²)				
	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷	10 ⁸	10 ⁹	10 ¹⁰	10 ¹¹	10 ¹²	10 ¹³	10 ¹⁴	10 ¹⁵	
Leopold et Wolman (1957)		●									●	●	●		
Rust (1978)		●										●	●	●	
Lotspeich (1980)	●										●	●	●	●	
Cloots et Maire (1980)	●	●	●	●							●	●	●		
Schumm (1981)			●	●	●	●	●	●					●	●	
Ferguson (1981)		●			●							●	●		
Maire et Wilms (1984), etc.		●	●	●	●	●		●				●	●		
Brussock et al. (1985)	●										●				
Frissel et al. (1986)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
Larsen et al. (1988)	●										●				
Hugues et Larsen (1988)	●										●				
Cupp (1989a, 1989b)		●	●									●	●	●	
Agence de l'Eau R-M et al. (1991)	●		●	●								●	●	●	
Otto (1991)		●	●	●	●	●						●	●	●	
Nanson et Croke (1992)		●	●	●	●	●	●	●				●	●		
Corbonnois et Zumstein (1994)	●	●		●								●	●		
Zumstein et Goetghebeur (1994)	●			●								●	●		
Downs (1994, 1995)	●			●				●				●	●	●	
Rosgen (1994, 1996)		●	●	●	●	●	●						●	●	
Petit (1995)			●		●			●				●	●		
Nanson et Knighton (1996)	●	●	●	●	●	●	●	●	●			●	●		
Tabacchi (1996)	●										●				
Bethemont et al. (1996), etc.	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
Bernot et al. (1996)	●			●	●	●	●					●	●		
AQUASCOP (1997)	●	●	●	●	●	●	●	●				●	●		
Bernot et Creuzé d. Chatel. (1998)	●			●	●	●						●	●		
Heidmann et al. (1998)	●	●	●	●	●	●	●	●				●	●		

■ : variable partiellement prise en compte

2.1.3. . . AUXORÉVATIONS MÉTHODOLOGIQUES

Compte-tenu de nos objectifs, de notre cadre géographique, et de l'éclairage apporté par la recension bibliographique ci-dessus, notre démarche repose sur l'application de deux méthodes complémentaires :

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

b. Une sectorisation des cours d'eau basée sur le rapprochement entre le gradient longitudinal de la puissance spécifique et une interprétation de la carte géologique du bassin versant (Bemot et al., 1996 ; Bemot et Creuzé des Chatelliers, 1998) représente la seconde phase mise en oeuvre. Cette méthode, de type « descendant » à l'échelle du linéaire hydrographique, devrait permettre de combler l'absence d'information entre les sites de mesure précités, 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.

2.2. PRESENTATION DES DONNEES ACQUISES ET PREMIERE REGIONALISATION HYDRO-GEOMORPHOLOGIQUE

2.2.1. CONSTITUTION DE LA BASE DE DONNEES

2.2.1.1. LE POSITIONNEMENT DES SITES DE MESURE

2.2.1.1.1. MODALITES DE SELECTION DES RIVIERES

En toute rigueur, l'utilisation d'analyses statistiques multivariées requiert un échantillonnage aléatoire. Dans notre cas, compte tenu du travail préalable de reconnaissance du terrain et du temps de collecte des données d'un site (une demi-journée à une journée), le nombre total de sites de mesure ne pouvait pas excéder 200 à 250. Par ailleurs, la longueur totale du réseau hydrographique de la zone d'étude est de **8.800** km ; il eut alors été nécessaire de localiser les sites à un pas de distance moyen de l'ordre de **40 km** sur l'ensemble du chevelu hydrographique. Pour satisfaisante qu'elle fût sur un plan statistique, cette solution était inadaptée dans notre cas. Un tel échantillonnage risquait effectivement de ne pas faire apparaître les séquences amont-aval des types de cours d'eau. De plus, les rivières originales de la zone d'étude (lits tourbeux, lits à chenaux multiples mobiles...), souvent d'extension limitée, pouvaient ne pas être représentées. Face à cette difficulté, notre choix a consisté à

La sélection des cours d'eau se fonde sur une analyse cartographique (topographie, géologie, formations superficielles) détaillée des principaux cours d'eau et de leurs affluents au sein de la zone d'étude, les innombrables sous-affluents d'ordre 1 n'ayant bien entendu pas tous été intégrés (annexe 2). Nous avons cherché à représenter les différents ensembles géographiques par au moins deux rivières, tout en veillant à prendre en compte toute la gamme de types de fonds de vallée, de styles fluviaux, de sinuosités, de pentes et de fonctionnements hydrologiques (pour les défluent actuels ou anciens de l'III^e et du Rhin), ainsi que leurs différentes combinaisons. En somme, près de 1.350 km ont été sélectionnés préalablement à la localisation des sites de mesure (**fig. 2**). Ce linéaire a également été retenu pour spatialiser la puissance spécifique.

Pour être représentatif et avoir une signification géomorphologique, un site de mesure doit constituer un tronçon de cours d'eau. Pour la mesure des faciès d'écoulement, la longueur de ce linéaire de rivière doit être 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). En outre, la mesure de la pente moyenne de la ligne d'eau demande que le site soit compris entre deux crêtes de seuils ou, dans le cas de torrents à séquences marches-cuvettes, entre deux marches (Rosgen 1996). En pratique, on a appliqué cette dernière recommandation tout en veillant à ce que la longueur des sites soit voisine de 30 à 36 fois la largeur à pleins bords.

Les sites de mesure ont été localisés dans un premier temps, à partir de l'étude des cartes topographiques et géologiques, en fonction de chaque modification notable de la morphologie du fond de vallée. Lors du travail de terrain, il a été nécessaire d'adapter ce schéma théorique pour éviter au maximum les tronçons anthropisés (rectifications, enrochements, seuils artificiels, etc.), et pour ne conserver que des tronçons représentatifs de linéaires d'au moins quelques kilomètres. Au total, 187 sites d'une longueur totale de 56,0 km ont été localisés sur les 1.350 km de cours d'eau sélectionnés. Les coordonnées de l'extrémité amont de chacun d'entre eux sont connues avec une précision de l'ordre de 2 m grâce à l'utilisation d'un appareil GPS mono-fréquence différentiel avec post-traitement, ce qui a permis par la suite de constituer une base de données hydro-géomorphologiques géo-référencées, gérée dans le Système d'Information Géographique (SIG) ArcView.

2.2.1.2. LES VARIABLES PRISES EN COMPTE DANS LA BASE DE DONNEES WDRO-GEOMORFOLOGIQUES

Les variables intégrées dans cette base de données sont présentées exhaustivement dans le tableau 2. Comme le montre ce dernier, outre quelques *variables informatives* qui ne présentent pas d'intérêt pour la réalisation de la typologie, ces variables concernent trois échelles spatiales des systèmes fluviaux :

- le bassin versant ;
- le fond de vallée ;
- le lit mineur.

Tableau 2 : Variables évaluées pour les 187 sites de mesure intégrées dans la base de données et méthodes d'estimation correspondantes.

Echelle spatiale	Variable	Code'	Méthode d'estimation
Données informatives	Coordonnées X en Lambert 2 étendu (m)	/	GPS sur le terrain (ou sur carte si la mesure GPS était impossible)
	Coordonnées Y en Lambert 2 étendu (m)	/	Id.
	Longueur du site (m)	/	Carte
	Zone hydrographique	/	BDCarthage
Bassin venant	Unité naturelle d'origine	BV	Carte (estimation qualitative)
	Surface du bassin versant (km ²)	SURFBV	ArcView
Fond de vallée.	Altitude du site (m)	altitude	Carte
	Ordre (Strahler, 1957)	ordre	D'après le réseau hydrographique de la BD Carthage
	Distance à la source (L)	dist.source	ArcView (BD Carthage)
	Type de fond de vallée	Fdva	Terrain et/ou carte (estimation qualitative)
	Largeur du fond de vallée (m)	wval	Carte ou terrain (Rosgen, 1994, 1996)
	Rapport d'encastement (Rosgen, 1996)	WvMlit	Carte ou terrain (Rosgen, 1994, 1996)
	Style fluvial indice de sinuosité	Siin sinuosité	Carte ou terrain (Rust, 1978) Carte, ArcView (BD Carthage). terrain (rare)
Lit mineur	Pente moyenne de la ligne d'eau (%)	pente	Terrain (nivellement), carie (rare)
	Surface mouillée (m ²), largeur à pleins bords (m), rayon hydraulique (m), rapport largeur/profondeur	surf mouil. largeur, R hydraul, W/D	Terrain (profil(s) en kavers)
	Rugosité	rugosité	Terrain (estimation qualitative d'w. la méthode de Cowan, cité par Carlie, 1986)
	Vitesse moyenne à pleins bords (m.s ⁻¹), débit à pleins bords (m ³ .s ⁻¹), puissance brute (W.m ⁻¹), puissance spécifique (W.m ⁻²)	vitesse, Qb, P brute, P.spéci	Terrain (profil en travers, pente moyenne de la ligne d'eau, estimation de la rugosité, équation de Manning-Strickler)
	Granulométrie moyenne (mm) et coef. de variation des sédiments du fond du lit	ganulo, Ci	Terrain (Wolman, 1954 ou Chin, 1998 ; selon le type de faciès d'écoulement). Quand la méthode de Chin a été utilisée (torrents à séquences marches-cuvettes) la valeur par défaut du coefficient de variation est de 1.
	Pourcentage de faciès d'écoulement «lotiques» (et % de différents faciès d'écoulement)	Wlotique	Terrain (adapté d'ap. Malavoi, 1989). Le % de faciès «lotiques» est égal à la somme des W' de faciès de type «bedrock», «marche», «rapide» et «seuil».
	W de berges sapées	%sapements	Terrain
	W total de bancs (latéraux et médians)	%bancs	Terrain
	indice de mobilité pondéré (L _p), dont nous proposons ci-dessous la définition	mobilité	Terrain: $L_p = \frac{S.(3B)}{4L}$ (où S=longueur des berges sapées, B=longueur des bancs, L=longueur du site) ¹
	indice de mobilité de Pfankuch	Pfankuch	Terrain (adapté d'ap. Collier, 1992)
	Indice de mobilité par étude diachronique	Diachronique	Cartes (1885-1990 ; estimation qualitative)
	Origine et importance de la charge solide	Charg	Terrain (adapté d'ap. Montgomery et Buffington, 1998)
	Granulométrie dominante de la charge solide	Grado	Terrain (estimation qualitative adaptée d'après Schumm, 1960, 1977, 1985)
Type de dynamique naturelle	Aiu	Terrain (adapté d'au. Downs, 1995)	

2. 2. 1. 2. MODALITES DES VAUBLES QUALITATIVES

Les modalités des six variables qualitatives prises en compte sont explicitées dans le tableau 3.

Tableau 3 : Modalités des variables qualitatives et de la variable « indice de mobilité par étude diachronique ».

Variable	Modalités
Principale région naturelle d'origine de la rivière	<ol style="list-style-type: none"> 1. contrefort jurassien et collines loessiques du Sundgau 2. Vosges cristallines 3. Hautes Vosges gréseuses 4. Basses Vosges gréseuses et collines marno-calcaires et loessiques du Nord de l'Alsace 5. plaine alluviale rhénane
Type de fond de vallée	<ol style="list-style-type: none"> 1. en « berceau » colluvial 2. en « V » ou en « U » 3. plat alluvial 4. lit majeur encaissé dans une terrasse 5. grande plaine alluviale rhénane
Style fluvial (adapté d'après Rust, 1978)	<ol style="list-style-type: none"> 1. rectiligne de cours d'eau de t&e de bassin 2. à méandres 3. à ressacs ou à méandres divaguants 4. anabranché ou palé-anabranché
Origine et importance de la charge solide (adapté d'après Montgomery et Buffington, 1998)	<ol style="list-style-type: none"> 1. ch. sol. abondante en provenance des versants latéraux et de d'affluents torrentiels. 2. ch. sol. déficitaire de cours d'eau de fond de vallée en « V » ou en « U » 3. ch. sol. abondante en provenance de reprises à la plaine alluviale. 4. ch. sol. déficitaire de rivière alluviale
Granulométrie dominante de la charge solide	<ol style="list-style-type: none"> 1. charge solide nulle ou quasi-nulle (tendance à l'envasement) 2. fines (limons, argiles...) 3. sables 4. graviers, galets 5. blocs
Type de dynamique naturelle (adapté d'après Downs, 1995)	<ol style="list-style-type: none"> 1. stable (torrents de montagne ou anabranches ello-rhénanes non envasées) 2. stable avec tendance à la contraction et/ou à l'envasement du lit. 3. tendance à l'exhaussement du chenal 4. tendance à l'incision du chenal 5. tendance aux déplacements latéraux sans modification du profil en travers
Indice de mobilité par étude diachronique de cartes topo. au 1/25.000 entre 1885 et 1990	<ol style="list-style-type: none"> 1. pas de déplacements latéraux, lit stable 2. peu de déplacements latéraux, quelques petites évolutions locales du tracé 3. déplacements latéraux modérés, évolutions marquées du tracé sur plus d'un ¼ du linéaire 4. déplacements latéraux très importants, modification quasi-totale du tracé

La mesure des faciès d'écoulement a été réalisée en étiage car ils s'individualisent d'autant mieux que le débit est moindre et leurs caractéristiques propres s'estompent généralement très fortement au cours des crues. D'autre part, pour des raisons pratiques, les basses eaux permettent une meilleure progression dans le lit mineur (faibles profondeurs et vitesses) et facilitent l'observation des unités morphodynamiques (faible turbidité). La mesure des faciès d'écoulement, réalisée au topofil, se rapporte donc au lit mineur dans le cas où ce dernier ne contient pas de bancs, ou au chenal d'étiage lorsque le lit mineur contient des bancs.

L'identification des faciès d'écoulement repose sur les travaux de Malavoi (1989), Hawkins et al. (1993) et Cohen (1998). Pour que ces descriptions soient utilisables pratiquement sur les cours d'eau alsaciens, nous les avons synthétisés, ce qui nous a conduit à redéfinir, voire le cas échéant à proposer, certains types de faciès (tableau 4).

Les faciès sont le plus souvent associés entre eux et forment des séquences spécifiques plus ou moins répétitives et régulières. Il est possible de considérer que les séquences d'unités morphodynamiques correspondent à des gammes spécifiques d'énergie des cours d'eau. En montagne, les torrents à très forte énergie présentent généralement des séquences « marche-cuvette » souvent associées à des « rapides » et, le cas échéant, à des affleurements du « bedrock ». Les cours d'eau alluviaux graveleux à forte énergie des vallées montagneuses se caractérisent généralement par des séquences « rapide-plat ». Les cours d'eau à énergie moyenne charriant des sédiments grossiers, mais pouvant être à dominante sableuse, montrent des séquences « seuil-mouille-plat ». Enfin, les cours d'eau à faible énergie des vallées gréseuses tendant à s'ensabler et les paiéo-anabranches elio-rhénanes non dynamiques présentent respectivement des faciès « chenal lentique sableux-plat-seuil », fréquemment disposés irrégulière, et un faciès souvent homogène de type « chenal lentique ».

2.2.1.2.3. STRUCTURATION DE LA BASE DE DONNÉES

La base de données élaborée, relative aux sites de mesure, a été importée dans le Système d'Informations Géographiques (**SIG**) ArcView et associée aux coordonnées géographiques des sites. Cela permet de générer des cartes des différentes variables, qu'elles soient quantitatives ou qualitatives.

Dix-neuf cartes ont été réalisées de cette manière (annexe 3). L'interprétation de ces cartes vis-à-vis de la typologie de l'Agence ne sera pas abordée ici car elle sera réalisée en relation avec les résultats des traitements statistiques.

Tableau 4 : Description simplifiée des faciès d'écoulement (unités morphodynamiques) mesurés en étiage dans le lit mineur ou le chenal d'étiage.

Faciès	Profondeur	Vitesse	Granulométrie	Pente (ligne d'eau)	Profil en long (généralement de la ligne d'eau)	Profil en travers	« Tmc » en plan de l'écoulement	Turbulence	Dissipation d'énergie en étiage
Bedrock	Faible	Très forte	Non applicable	Très forte	Très forte augmentation de la pente	Très irrégulier, généralement encaissé	Irrégulier	Très forte	Extrêmement forte
Marche	Non applicable	Très forte	Rochers, blocs, galets	Très forte	Très forte augmentation de la pente	Très irrégulier	irrégulier	Très forte	Très forte
Conveine	Forte	Faible	Blocs, gravier, granules, sable...	Faible	Très forte diminution de la pente	Trapézoïdal, régulier, profond	boyennement régulier	Faible à moyenne	Faible à moyenne
Rapide	Faible	Forte	ÉGS, gnets	Forte	Pente homogène à petite	Trapézoïdal,	Irrégulier	Forte	Forte
Seuil (haut fond médian ou en écharpe)	Faible	Forte	Galets, gravier				Divergence	Forte	Forte
Plat (chenai)	Forte	Moyenne	Variable	Moyenne	Uniforme	Trapézoïdal, régulier, plus ou moins encaissé	Régulier	Faible	Moyenne à faible
Mouille	Forte à très forte	Faible	Gravier, granules, sable...	Faible	Nette diminution de la pente	Triangulaire, régulier, profond	Convergence	Faible, tourbillons fréquents	Faible
Chenal lentique sableux	Moyenne à faible	Faible	Sable exclusivement (ensablement important)	Faible	A petite échelle : uniforme, souvent diminution locale de la pente. A grande échelle au fond du lit : rides...	Trapézoïdal, régulier, plat	Régulier	Très faible à nulle	Faible à très faible
Chenal lentique	Moyenne à forte	Faible à très faible	Gravier (non nahik), granules, sable, VaSe...	Faible	Uniforme	Trapézoïdal, régulier, plus ou moins encaissé	Trapézoïdal, régulier	Très faible à nulle	Très faible

2.2.2. TENDANCES HIERARCHIQUES DES VARIABLES HYDRO-GEOMORPHOLOGIQUES

Nous chercherons à faire apparaître les tendances hiérarchiques du jeu de données à notre disposition à partir de trois traitements statistiques successifs : une Analyse des Composantes Principales (ACP), une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) des variables quantitatives et une Analyse des Correspondances Multiples (ACM).

2.2.2.1. UNE ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES (ACP)

2.2.2.1.1. MISE EN FORME DES DONNEES

Une ACP centrée réduite avec rotation **Varimax** a été réalisée avec le logiciel MNTAB (version 12.2 ; ce logiciel sera également utilisé pour les traitements statistiques ultérieurs) sur les 25 variables quantitatives à notre disposition présentées dans le tableau 2. **En** effet, les variables qualitatives ne peuvent pas être intégrées dans une ACP. Au cours de la réalisation de l'analyse factorielle, MINITAB centre et réduit automatiquement les données afin d'attribuer a priori le même poids à toutes les variables.

2.2.2.1.2. RESULTATS ET PREMIERE INTERPRETATION

Les pourcentages de variance contenue respectivement dans les 15 premiers axes factoriels (24 au total, c'est-à-dire le nombre de variables moins une) et leur interprétation sont mentionnés dans le tableau 5. Ces 15 premiers facteurs contiennent au total 96.1 % de la variance totale. L'interprétation des facteurs à partir du 16^e axe factoriel est délicate et présente un intérêt mineur vis-à-vis des informations véhiculées par les 15 premiers facteurs. L'interprétation de ces premiers résultats montre notamment que le poids de la taille des cours d'eau, qui n'a qu'une importance secondaire pour la typologie à réaliser, tend à estomper la part relative des autres axes factoriels. La hiérarchie de variables et groupes de variables sera discutée plus loin, en prenant également en compte les résultats des deux traitements statistiques qui vont suivre.

Facteurs	% de variance contenue dans les facteurs	Interprétation des facteurs
1 ^{er} facteur	15.0	Diverses variables liées à la taille du cours d'eau (essentiellement débit à pleins bords, s u r f a c e o n hydraulique, l a r g e u r)
2 ^e facteur	13.7	Granulométrie , tri des sédiments et altitude
3 ^e facteur	12.7	Energie (puissance spécifique et bme)
4 ^e facteur	8.6	Surface du bassin
5 ^e facteur	8.0	Largeur du fond de vallée
6 ^e facteur	6.5	Présence de bancs et mobilité du lit
7 ^e facteur	5.9	Sapements et mobilité du lit
8 ^e facteur	5.5	Géoméme du lit
9 ^e facteur	4.5	Sinuosité
10 ^e facteur	4.2	Rugosité
11 ^e facteur	3.7	Mobilité par étude diachronique
12 ^e facteur	2.9	Indice de mobilité de pfankuch
13 ^e facteur	2.1	ordre
14 ^e facteur	1.8	% d'unités morphodynamiques lotiques
15 ^e facteur	1.0	Altitude
Total : 96.1 %		

2.2.2.2. UNE CAH DES VARIABLES QUANTITATIVES

2.2.2.2.1. MISE EN FORME DES DONNÉES

Ce traitement statistique doit faire apparaître les principaux effets de redondance entre **les 25** variables quantitatives prises en compte (tableau 2) **et** les regrouper en ensembles cohérents. **Les** variables ont été normalisées et les liaisons entre les **groupes (CAH)** ont été réalisées d'après leurs moyennes.

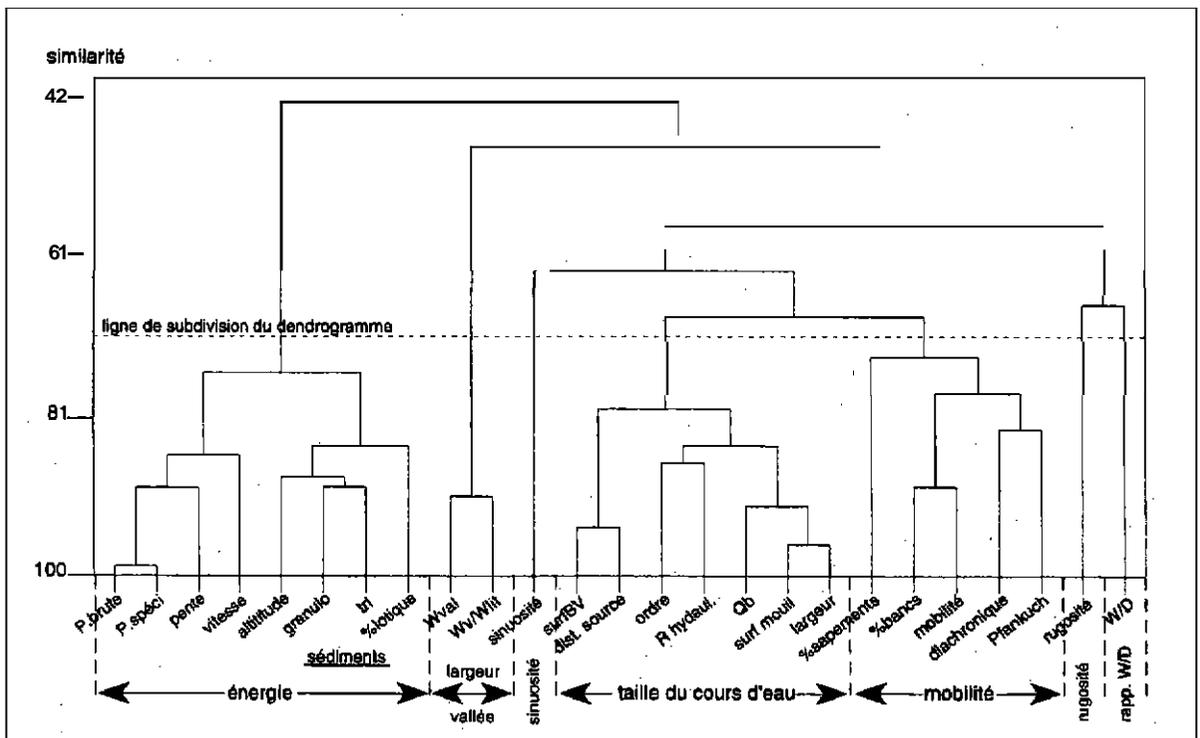
2.2.2.2.2. RESULTATS ET INTERPRÉTATION

Cette CAH fait apparaître 7 groupes cohérents de variables pouvant contenir entre 1 et 8 variables (**fig.3**) et que l'ACP permet de hiérarchiser comme suit :

- un groupe lié à la taille des cours d'eau qui associe la surface du bassin, la distance à la source, l'ordre de Strahler, le rayon hydraulique, le débit à pleins bords, la surface mouillée et la largeur à pleins bords ;
- un groupe **lié** à l'énergie, qui réunit la puissance brute et la puissance spécifique à pleins bords, la pente, la vitesse moyenne à pleins bords, l'altitude, mais aussi des variables se rapportant **aux** caractéristiques sédimentologiques du lit (comme le diamètre moyen et le coefficient de variation des sédiments du fond du lit) et le pourcentage d'unités morphodynamiques lotiques ;

- un groupe lié à la contrainte exercée par la vallée **sur** le lit fluvial, comprenant la largeur du fond de vallée et le rapport d'encaissement ;
- un groupe lié à la mobilité latérale des chenaux, qui rassemble le pourcentage de berges sapées, le pourcentage total de bancs latéraux et médians, ainsi que l'indice de mobilité pondéré, l'indice de mobilité de Pfanhch et l'indice de mobilité estimé par étude diachronique de cartes. Cela montre que ces variables sont très homogènes entre elles, bien qu'elles aient été mesurées de diverses manières. Ceci est confirmé par les figures **15**, **16**, **17** et **18** de l'annexe 3. En outre, la variable «pourcentage de berges sapées» se dissocie légèrement de cet ensemble. Ceci s'explique car les cours d'eau dont les berges sont fréquemment sapées ne sont pas nécessairement très mobiles si le recul des berges est relativement lent. C'est particulièrement le cas des cours d'eau à charge dominante fine dont les berges sont généralement très cohésives (Ill amont, Largue, Eberbach amont, Mosselbach, Kohbach..), ainsi que de certaines rivières alluviales à énergie élevée et à dynamique limitée des Vosges cristallines (cf. infra) ;
- et enfin 3 variables isolées constituant chacune un groupe indépendant :
 - le rapport largeurprofondeur ;
 - la sinuosité ;
 - la rugosité.

Figure 3 : Dendrogramme de la Classification Ascendante Hiérarchique des **25** variables quantitatives prises en compte **pour** l'analyse des données.



2.2.2.3. UNE ANALYSE DES CORRESPONDANCES MULTIPLES

2.2.2.3.1. MISE EN FORME DES DONNÉES

Cette ACM repose sur le croisement des 187 sites de mesure et des 24 variables quantitatives et qualitatives à notre disposition (les « variables informatives » ne sont bien entendu pas prises en compte). Comme on utilisera également cette ACM pour faire apparaître une première régionalisation des cours d'eau de la zone d'étude, on a retiré de ce tableau de données les 7 variables quantitatives liées à la taille des cours d'eau car elles ne présentent qu'un intérêt secondaire vis-à-vis de la typologie recherchée, compte tenu de la gamme de dimensions des chenaux de la zone d'étude. Par rapport aux deux traitements de données précédents, l'ACM présente l'avantage de pouvoir combiner des variables qualitatives et quantitatives, à condition que ces dernières soient préalablement discrétisées. Cette opération a été réalisée par classes inter-quartiles. De cette manière, le nombre de modalités des variables quantitatives est de quatre, et le nombre de sites correspondant à chaque modalité est toujours de 46 ou de 47. Ceci permet de ne pas déséquilibrer l'ACM, d'autant plus qu'on a cherché, dans la limite du possible, à ce que cette distribution soit également respectée pour les variables qualitatives.

2.2.2.3.2. RESULTATS ET PREMIERE INTERPRETATION

L'analyse détaillée des résultats obtenus montre que seuls les trois premiers axes factoriels de cette ACM peuvent être interprétés en termes de typologie de rivières. Du premier au troisième, le pourcentage de variance expliquée par ces axes est respectivement de 16.7, 14.7 et 5.6% (tabl. 6), d'où un total de 37.0 % de variance expliquée.

Tableau 6 : Pourcentage de variance et interprétation des trois premiers facteurs de l'ACM.

Facteurs	% de variance expliquée	Interprétation des facteurs
1 ^{er} facteur	16.7 %	Energie et pente fortes, altitude élevée, fond de vallée en « V », sinuosité nulle... = torrents (non alluviaux) des Vosges du Sud. Opposition avec les cours d'eau de la plaine rhénane. Inter relation : <i>énergie</i>
2 ^e facteur	14.7 %	Mobilité très faible, charge solide très faible avec tendance à l'envasement, plaine rhénane = anastomoses et paléo-anastomoses de la plaine rhénane. Opposition avec des cours d'eau alluviaux à méandres migrant sans modification du profil en travers. Interprétation : <i>intensité de la migration latérale des lits</i>
3 ^e facteur	5.6 %	Nette opposition entre les cours d'eau sableux des Vosges gréseuses et de leur piémont (sinuosité élevée, relativement peu de bancs) et les murs d'eau pveleux à très forte mobilité latérale du piémont des Vosges du Sud et moyennes (rapport W/D très élevé, 8 de bancs et indice de mobilité très élevés, déplacements depuis un siècle très importants...). Interprétation : gradient théorique entre les rivières alluviales graveleuses et les rivières alluviales sableuses ou argilo-limoneuses

2.2.2.4. HIERARCHIE DES VARIABLES HYDRO-GEOMORPHOLOGIQUES

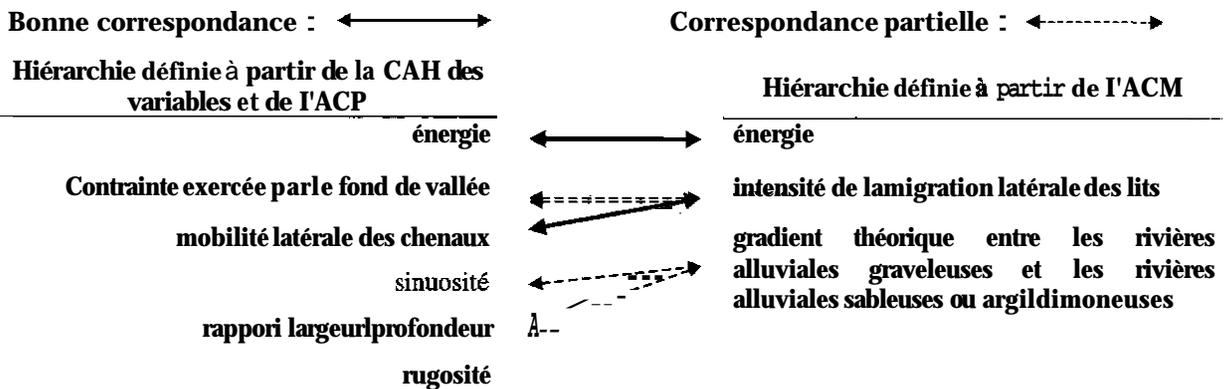
Comme le montre le tableau 7, l'ACM rejoint dans les grandes lignes la hiérarchie de groupes de variables définie à partir de la CAH des variables et de l'ACP, bien que cette dernière soit plus détaillée.

En effet, après analyse de la signification des composantes de l'ACM, il apparaît que la première d'entre elles («*énergie*, au sens large) traduit la puissance spécifique, la puissance brute, la pente, la vitesse moyenne, l'altitude, les variables liées aux caractéristiques sédimentologiques du fond du lit, ainsi que celles se rapportant à la largeur du fond de vallée. Ces résultats confirment que l'ensemble des variables liées directement à l'énergie, et particulièrement la puissance spécifique, sont des grandeurs de première importance en dynamique fluviale.

La deuxième composante de l'ACM («*intensité de la migration latérale des lits*») rejoint bien le groupe de variables lié à la mobilité latérale des chenaux défini à partir de l'ACP et de la CAH des variables, mais il est aussi partiellement lié à la contrainte exercée par le fond de vallée. Ces résultats soulignent le poids des variables liées à l'intensité de la mobilité latérale des lits, alors que celles-ci ont été assez rarement retenues dans les schémas typologiques antérieurs. Il est à noter que ce descripteur a été implicitement pris en compte dans la typologie de l'Agence.

La troisième composante de l'ACM («*gradient théorique entre les rivières alluviales graveleuses et les rivières alluviales sableuses ou argilo-limoneuses*») est partiellement liée à la granulométrie, au rapport largeur/profondeur et à la sinuosité.

Tableau 7 : 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.



2.2.3. PREMIERE REGIONALISATION HYDRO-GEOMORPHOLOGIQUE DES RIVIERES ALSACIENNES

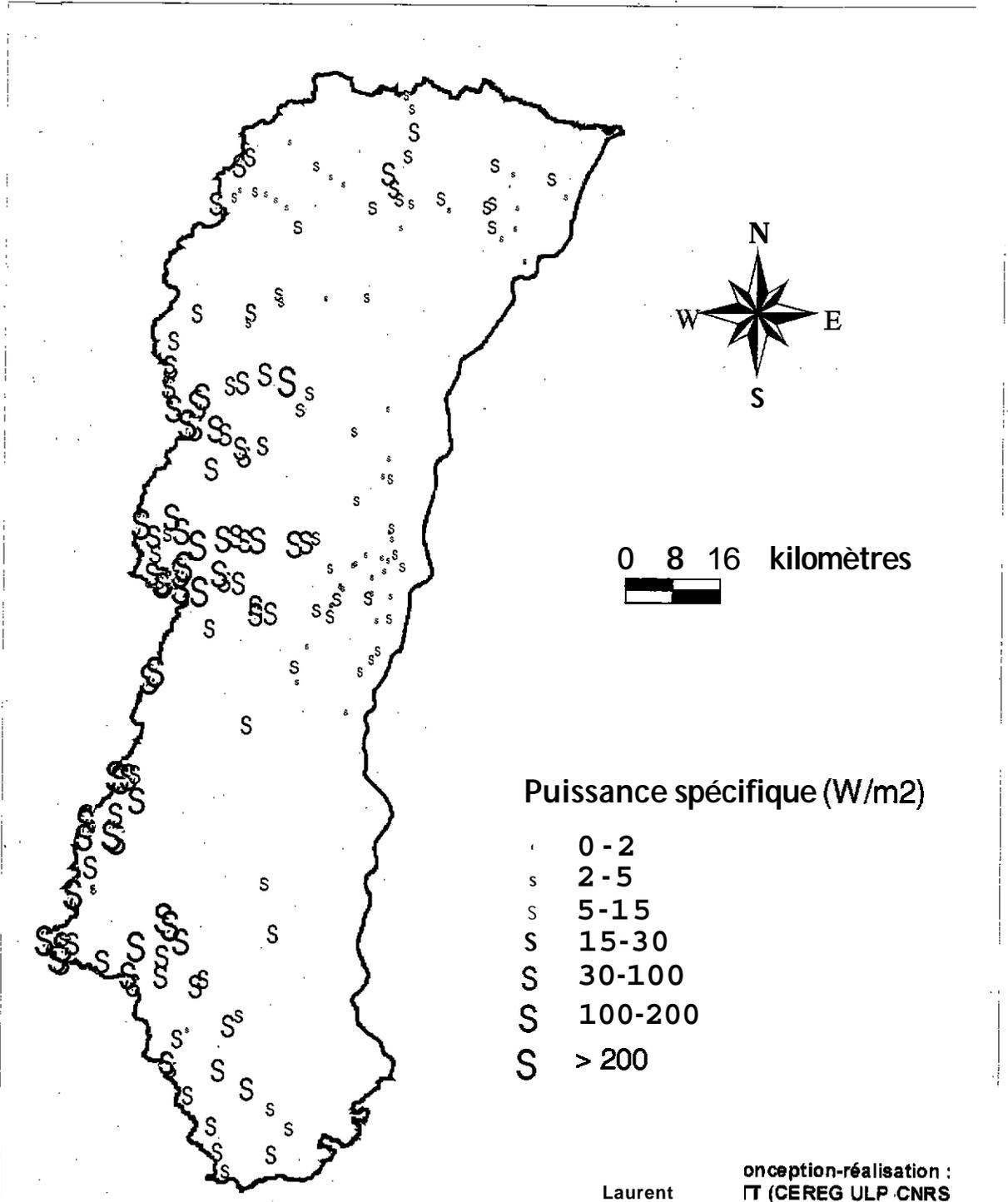
Cette régionalisation repose, d'une part sur une Analyse des Correspondances Multiples (ACM), et d'autre part sur l'interprétation des cartes générées à partir de la base de données (annexe 3).

2.2.3.1. INTERPRETATION DES CARTES GENEREES A PARTIR DE LA BASE DE DONNEES

Les cartes de l'annexe 3 permettent de dégager des premières tendances régionales de la dynamique fluviale des rivières étudiées. En guise d'illustration, nous interprétons ici la carte de la puissance spécifique à pleins bords (w) des 187 sites de mesure (fig. 4, adaptée de la figure 8 de l'annexe 3). Il s'agit en effet d'une variable reconnue de première importance en géomorphologie fluviale (Bagnold, 1966 ; Bull, 1979 ; Van Den Berg, 1995...), qui est particulièrement bien adaptée à l'établissement de typologies de rivières (Ferguson, 1981 ; Newson et al., 1998 ; Schmitt et al., 2001), et dont le poids est de surcroît confirmé par les traitements statistiques ci-dessus. Cette carte de la puissance spécifique permet d'identifier quatre grands ensembles naturels relativement homogènes vis-à-vis de l'énergie de leur réseau hydrographique :

- la zone du contrefort jurassien et des collines loessiques du Sundgau (w relativement constant, oscillant généralement entre 15 et **40 $W.m^{-2}$**) ;
- la zone des Vosges cristallines et de la partie méridionale des Vosges gréseuses, dont les sommets peuvent dépasser 1.000 m d'altitude (« Hautes Vosges gréseuses » ; w dépasse fréquemment **200 $W.m^{-2}$**) ;
- la zone moyenne et septentrionale des Vosges gréseuses du Nord (« Basses Vosges gréseuses », des terrasses et des collines loessiques et mamo-calcaires et des cônes sableux du Nord de l'Alsace, que nous nommerons par commodité rédactionnelle « région du Nord de l'Alsace » (w généralement inférieur à 15 $W.m^{-2}$, **mais** pouvant atteindre en tête de bassin 60 $W.m^{-2}$) ;
- la grande plaine alluviale rhénane (w généralement inférieur à 5 $W.m^{-2}$).

Figure 4 : Exemple de carte générée à partir de la base de données hydro-géomorphologiques : la puissance spécifique à pleins bords des 187 sites de mesure (estimation d'après la formule de Manning-Stuckier).



Copyright du réseau hydromographique /GN-BD CARTOIAERM-BD CARTHAGE (2001)

2.2.3.2. Interprétation de l'ACM

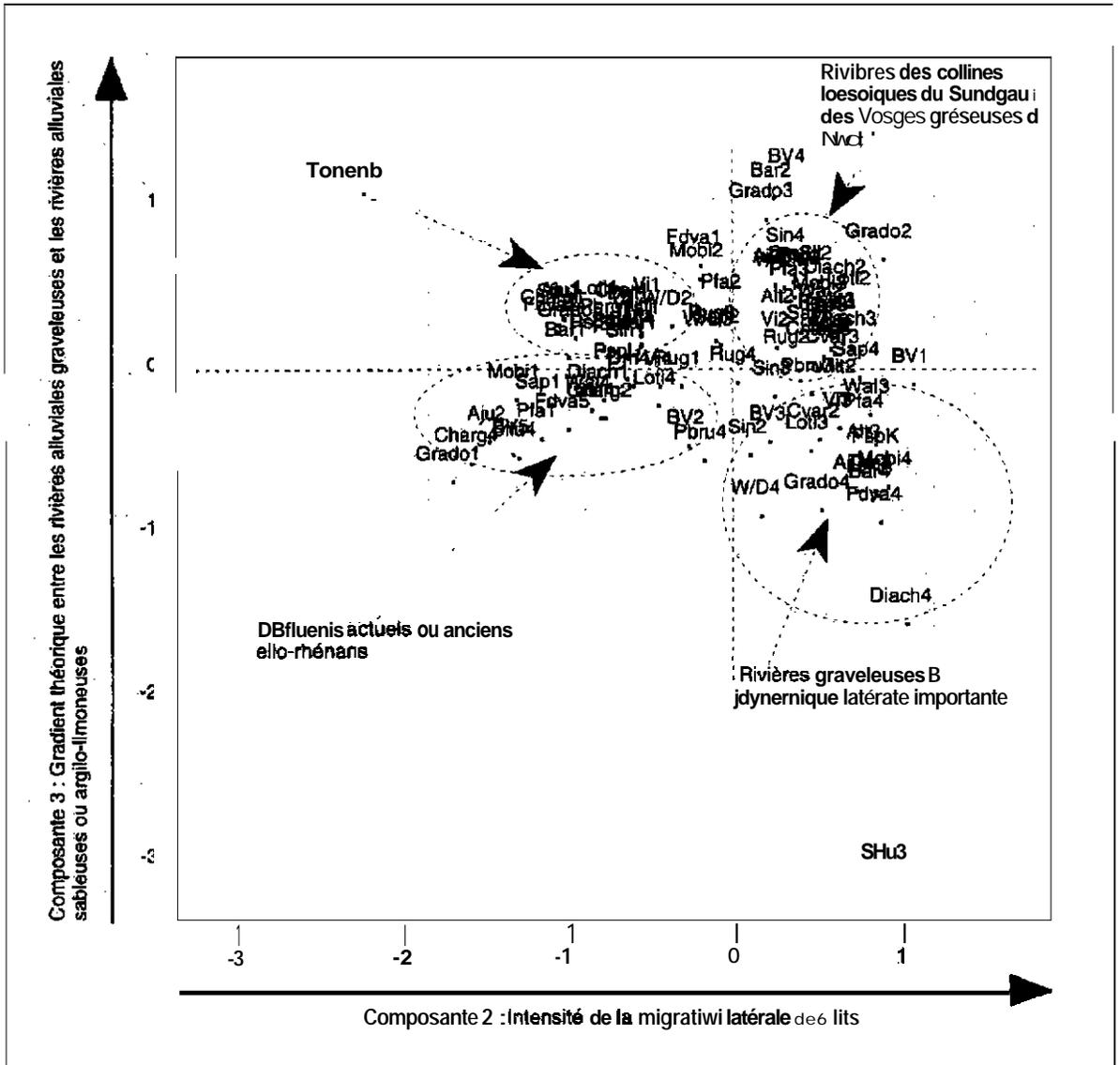
Le plan factoriel F1-F2 (**fig. 5**), défini par les deux premières composantes («énergie» et «intensité de la migration latérale des lits»), permet de distinguer des regroupements de modalités de variables qu'il est possible d'interpréter comme six ensembles cohérents de rivières :

- les rivières à dynamique latérale importante du piémont des Vosges cristallines, des collines loessiques du Sundgau et du contrefort jurassien ;
- les rivières alluviales des moyennes vallées des Vosges cristallines ;
- les rivières alluviales à dynamique latérale modérée des Vosges moyennes ;
- les torrents ;
- les défluent actuels ou anciens ello-rhénans ;
- les rivières des Vosges gréseuses et de la terrasse sableuse pliocène de la Forêt de Haguenau.

Le plan factoriel F2-F3 (**fig. 6**), («intensité de la migration latérale des lits» et «gradient théorique entre les rivières alluviales graveleuses et les rivières alluviales sableuses ou argilo-honeuses») est, ce qui est logique, moins discriminant que le précédent. Aussi, ce plan factoriel ne permet d'individualiser que quatre ensembles de sites :

- les rivières des collines loessiques du Sundgau [S] et des Vosges gréseuses ;
- les rivières à dynamique latérale importante du piémont des Vosges cristallines ;
- les défluent actuels ou anciens ello-rhénans ;
- les torrents.

Figure 6 : Regroupements de cours d'eau apparaissant dans le plan factoriel des deuxièmes et troisièmes composantes de l'ACM.



2.2.3.3. SYNTHÈSE

Les principales régions hydro-géomorphologiques de la zone d'étude se dégagent à partir des deux plans factoriels de l'ACM (fig. 5 et 6) et de la carte de la puissance spécifique à pleins bords. Les entités géographiques délimitées par l'interprétation des plans factoriels correspondent partiellement aux régions naturelles de la zone d'étude, mais les collines loessiques du Sundgau et le contrefort jurassien font exception. Les cours d'eau de ces ensembles régionaux s'agglomèrent en effet, dans un cas avec les rivières de piémont des Vosges cristallines, et dans le second cas avec celles des Vosges gréseuses du Nord. Par contre, la carte de la puissance spécifique à pleins bords isole nettement les rivières des collines loessiques du Sundgau et du contrefort jurassien, tout en dégagant des ensembles géographiques comparables à ceux obtenus à partir de YACM. En somme, l'emploi simultané de ces deux méthodes, ainsi que l'utilisation des cartes de l'annexe 3 (fig. 2, 4, 5, 6, 11, 12, 17...), 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 » (w supérieur à 200 W.m^{-2} , charge solide hétérométrique contenant des blocs, pas de dynamique latérale) ;
 - a.2 rivières alluviales à dynamique modérée des Vosges moyennes et des moyennes vallées des Vosges cristallines (w compris 50 et 100 W.m^{-2} , charge solide graveleuse, dynamique de méandres peu mobiles) ;
 - a.3 rivières graveleuses du piémont des Vosges à dynamique latérale active (w compris entre 50 et 100 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 jurassien et des collines loessiques du Sundgau (w compris entre 15 et 40 W.m^{-2} , charge solide argilo-limoneuse, dynamique modérée de méandres mobiles) ;
- c. les défluent actuels ou anciens ello-rhénans (w inférieur à 5 W.m^{-2} , charge solide sable-graveleuse ou nulle, lits plus ou moins dynamiques pouvant s'envaser) ;
- d. les rivières de la région du Nord de l'Alsace (w inférieur à 15 W.m^{-2} excepté en tête de bassin, charge solide sableuse, voire argilo-limoneuse, dynamique de méandres mobiles parfois très sinueux, lits pouvant localement s'inciser ou s'ensabler).

Il est remarquable de constater que ces six classes de cours d'eau mises en évidence par des méthodes « objectives » sont clairement distinctes et interprétables en termes de morphodynamique fluviale. Néanmoins, ces premiers résultats nécessitent des investigations complémentaires, notamment pour mettre en évidence d'autres subdivisions de lits (analyses multivariées sur des sous-groupes de sites et de variables), ainsi que pour faire apparaître les discontinuités longitudinales entre les types de lits (spatialisation longitudinale de la puissance spécifique, analyse fine des profils en long).

2.3. SPECIFICATION DE LA PREMIERE REGIONALISATION HYDRO-GEOMORPHOLOGIQUE

Les traitements statistiques de cette partie visent à détailler la première régionalisation mise en évidence ci-dessus. Pour cela, les analyses de données qui suivent reposeront sur des sous-ensembles de variables et de sites de mesure.

2.3.1. TYPOLOGIE SPECIFIQUE DES RNIERES DE LA *PLAINNE* RHENANE

2.3.1.1. INTRODUCTION

2.3.1.1.1. CONTEXTE DE CETTE EXPERTISE SPECIFIQUE

Le contenu initial de la tâche 2 consistait à définir « la pertinence de la méthode de définition des éco-régions mise au point au niveau national par les Agences pour la définition d'une typologie régionale de cours d'eau ». Pour la réalisation de cette tâche, et à la demande de l'Agence, le **CEREG** a tout d'abord réalisé une étude de faisabilité (Schmitt, 2000 ; annexe 1). Celle-ci a montré que la réalisation de cette tâche était relativement lourde et demanderait un travail **da**u moins **4** mois. **Il** est alors apparu au cours de la troisième réunion (7 Juillet 2000) d'avancement que cette étude était incompatible avec les échéances de l'ensemble de la convention.

Parallèlement, les discussions au **cours** de cette réunion ont révélé qu'un développement spécifique de la typologie des cours d'eau de la plaine rhénane était nécessaire. En effet, **ces cours** d'eau sont **très** sensibles aux perturbations anthropiques (énergie faible, donc faible capacité de réajustement géomorphologique) et requièrent par conséquent des pratiques de gestion particulièrement fines. Par ailleurs, le fonctionnement hydro-géomorphologique du réseau hydrographique de la plaine rhénane paraît singulièrement complexe. De fait, il a été décidé d'un commun accord, au cours de la troisième réunion d'avancement, que la tâche 2 serait constituée par ce développement particulier sur les rivières **de** la plaine rhénane. **Ceci** est l'objet du présent travail.

2.3.1.1.2. CADRE GEOGRAPHIQUE DE LA PRESENTE EXPERTISE

Ce travail vise à vérifier la validité des types suivants de la typologie de l'Agence de l'**Eau** en 1998 (Heidmann et al., 1998) :

- cours d'eau de piémont, cônes alluviaux, glacis ;
- cours d'eau de piémont à influence phréatique ;
- cours d'eau de plaine à influence phréatique ;
- **cours d'eau phréatiques.**

Or, le réseau hydrographique concerné se développe **non** seulement sur la plaine rhénane stricto sensu, mais également **sur** les cônes de déjection des rivières issues des Vosges méridionales et moyennes. En conséquence, ces unités naturelles constitueront la zone d'étude de cette expertise.

Ces unités couvrent une superficie de près de 2800 km² (34% de toute la zone d'étude) et comprennent, d'après la BD Carthage, un linéaire hydrographique d'environ 3500 km (40 % de la longueur du réseau hydrographique de toute la zone d'étude). Ce dernier chiffre semble toutefois surestimé car de nombreux drains de le BD Carthage figurant **dans** la plaine rhénane sont de simples fossés de drainage fréquemment à sec ou à eau stagnante.

Notons que les cours d'eau alluviaux des vallées vosgiennes et sundgauviennes, des zones collinaires et des cônes et terrasses sableux du Nord de l'Alsace, qui présentent également des échanges nappe-rivière (particulièrement le réseau hydrographique de la Forêt de Haguenau - Gresse, **2000**), ne sont pas concernés.

2.3.1.1.3. REMARQUE CONCERNANT LES DÉFLUENTS RHÉNANS

Nous n'aborderons pas ici l'étude de la typologie spécifique des anciens bras du Rhin, aujourd'hui très fortement anthropisés et plus ou moins déconnectés à la suite des aménagements du fleuve. On notera toutefois que les cartes au 1/20.000^e du début du XIX^e siècle montrent que ces chenaux présentaient des fonctionnements hydro-géomorphologiques variés, d'autant plus qu'ils étaient, et qu'ils sont encore partiellement aujourd'hui, particulièrement nombreux, comme l'illustre la figure 7. En outre, cette diversité morphodynamique, étroitement liée à l'évolution longitudinale du style fluvial du fleuve (Carbiener, 1970), correspond partiellement à la classification d'« anabranches » proposée par Knighton et Nanson (1996).

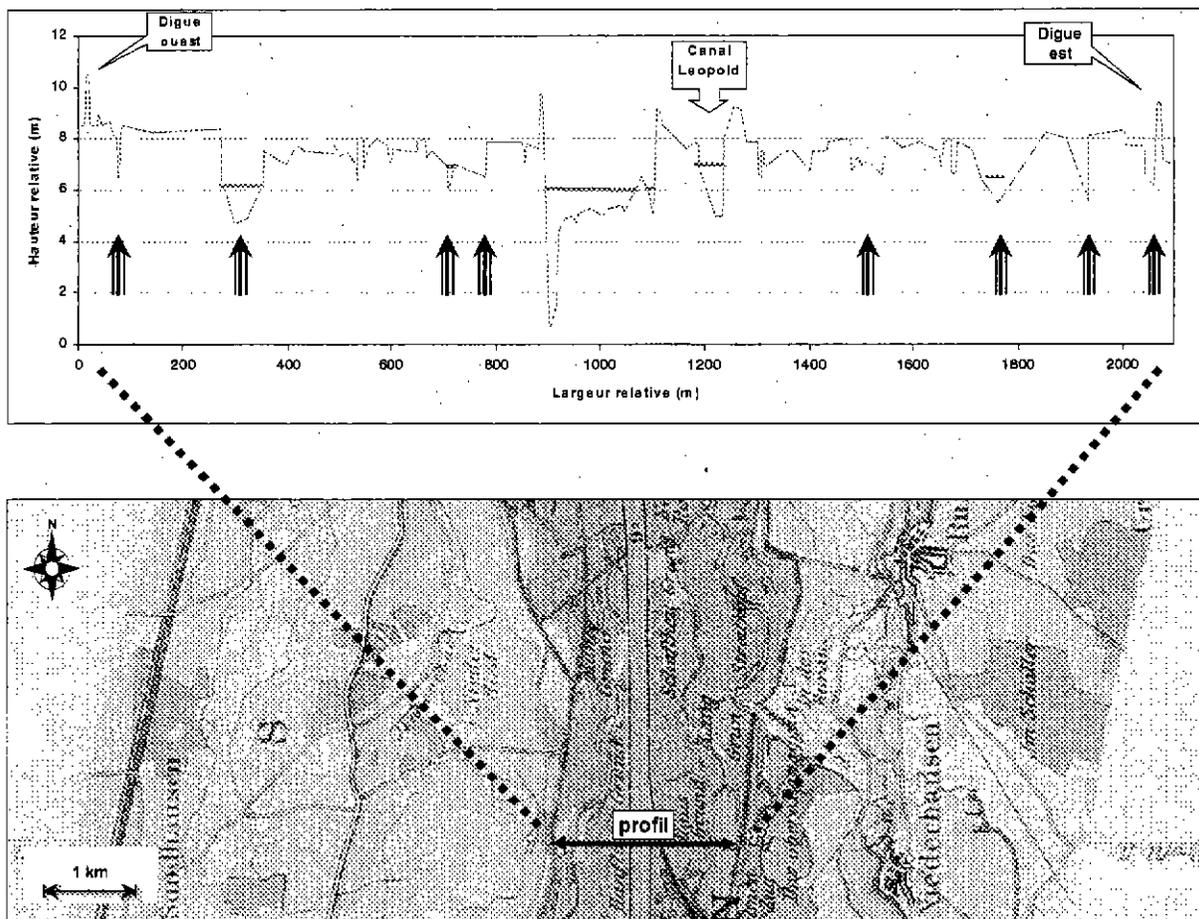
Dans la typologie des rivières de la plaine rhénane proposée par le CEREG dans le présent travail, l'ensemble de ces anabranches sera donc classé dans un même type « défluent rhénan sub-actuel ». Le lecteur intéressé par la typologie de ces chenaux pourra se reporter, pour une présentation théorique, à la synthèse de Nanson et Knighton (1996), et pour une typologie pragmatique régionale, à l'ébauche de Schmitt (1995) et à certains travaux de Carbiener (1983% 1983b). Les résultats de ces travaux pourraient par ailleurs être utilement confrontés avec la typologie de l'ensemble des rivières de la plaine rhénane proposée dans le présent travail car de fortes similitudes semblent pouvoir être mises en évidence (en particulier avec les types A3, D3, D4, voire D2 ; cf. infra).

2.3.1.2. FORMATION DE LA PLAINE RHÉNANE. ÉVOLUTION NATURELLE ET ÉVOLUTION INDUITE DEPUIS LA FIN DU WÜRME

2.3.1.2.1. MISE EN PLACE DE LA PLAINE RHÉNANE

La mise en place de la plaine rhénane est indissociable de l'évolution du fossé tectonique du Rhin Supérieur. À l'éocène inférieur, des intrusions basaltiques volcaniques amorcent la formation du graben. Celui-ci ne se forme réellement qu'à partir de l'océne moyen avec les premiers affaissements de la clé de voûte de l'ensemble Vosges-Forêt Noire, et à l'éocène supérieur, avec l'effondrement et l'ouverture du graben. À l'oligocène, la poursuite de la subsidence entraîne des intrusions marines, d'abord du Sud, puis du Nord. Les dépôts sont de type lagunaire et marin. Le Miocène marque le retrait de la mer et l'aplanissement des Vosges et de la Forêt Noire, ce qui entraîne une importante sédimentation dans le fossé. Les deux bordures du fossé se soulèvent au Pliocène. Le Rhin primitif prenait alors vraisemblablement naissance dans le fossé aux environs du Kaiserstuhl, alors que les cours d'eau du domaine alpin septentrional, compris dans le bassin danubien, se dirigeaient vers l'Est (B.R.G.M 1972 ; Simla et Millot, 1967 ; Simler et al, 1979).

Figure 7 : Profil en travers du lit majeur "intra-digues" du Rhin à hauteur de Sundhouse-Niederhausen (8 km en amont de Rhinau) en 1889 (d'ap. Emst & Kom). Les 8 anabranches présentes sur cette section en travers sont localisées par les flèches.



Après un changement de direction d'écoulement des cours d'eau alpins Nord-occidentaux (notamment l'Aar) vers la Méditerranée, ces rivières empruntèrent définitivement le graben à la fin du Pliocène, après le soulèvement, d'origine alpine, de la trouée de Belfort. Le Rhin alpin ne les rejoindra quant à lui qu'au Mindel-Riss. La poursuite de la subsidence et les oscillations climatiques Pleistocène favorisèrent l'importante accumulation fluviale dans le fossé. Celle-ci, surtout d'origine rhénane (dépôts fluvio-glaciaires), et dans une moindre mesure en provenance des Vosges et de la Forêt Noire (dépôts péri-glaciaires), se produisit pour l'essentiel au cours des périodes froides durant lesquelles les débits liquides et solides étaient les plus importants. Le Rhin enfouit sous ses alluvions l'essentiel de l'ancienne topographie, alors que les rivières des Vosges méridionales et moyennes¹ continuèrent de déposer, au débouché de leur vallée, une partie de leur charge solide sur leur cône de déjection dont la formation a débuté au Pliocène. Aussi peut-on localement observer au contact piémont-plaine des imbrications d'alluvions d'origine différente (B.R.G.M., 1972 ; Simler et Millot, 1967 ; Simler et al, 1979).

L'empilement sédimentaire, de graviers, galets, sables, limons et de lentilles argileuses, peut atteindre une épaisseur maximale de 200 à 250 m dans la plaine alsacienne. C'est dans cette formation que s'écoule l'immense nappe phréatique du fossé du Rhin

¹ En nous restreignant à la bordure alsacienne du fossé rhénan.

Supérieur dont le volume en Alsace est estimé à 50 milliards de m³ (Zilliox, 1990). Les alluvions les plus récentes (tardiglaciaires et holocènes) et superficielles présentent une texture généralement plus fine (sables, limons et argiles) que les alluvions plus anciennes et profondes (Simler et al, 1979).

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'Il1 n'était pas encore individualisée. De leur côté, les rivières vosgiennes, en tresses, « balayaient » leur cône (Simler et al, 1979).

2.3.1.2.2. EVOLUTION NATURELLE HOLOCÈNE DE LA PLAINE. MISE EN PLACE ET FONCTIONNEMENT DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE SUB-ACTUEL

2.3.1.2.2.1. Mosaïque longitudinale et transversale des principaux compartiments de la plaine

Comme le soulignent Hiah (1971), Carbiener (1983% **1983b**) et Esteves (1989), le fonctionnement hydrogeomorphologique actuel du réseau hydrographique de la plaine rhénane est étroitement lié à son histoire géomorphologique holocène. Le profil longitudinal post-würmien de la plaine rhénane peut se subdiviser schématiquement en deux secteurs raccordés par une rupture de pente marquée (fig. 8) :

- en amont de Breisach, une terrasse würmienne dont la pente est supérieure à 1 ‰ ;
- en aval de Breisach, un glaciaire alluvial à pente plus douce de l'ordre de 0,8 à 0,6 ‰, et de moins de 0,5 ‰ au Nord de Strasbourg.

Après le Würm, le profil en long du Rhin se réajusta à la suite de l'évolution de plusieurs facteurs de contrôle du système fluvial :

- une diminution des débits liquide et solide consécutive au réchauffement climatique (Hirth, 1971) ;
- un piégeage d'importantes quantités d'alluvions rhénanes après la formation du lac de Constance à la fin du Würm, ce qui amoindrit d'autant la charge sédimentaire (Hirth, 1971) ;
- des mouvements tectoniques négatifs à hauteur de Marckolsheim (Jung et Schlumberger, 1936) et au Nord de Strasbourg (Vogt, 1980).

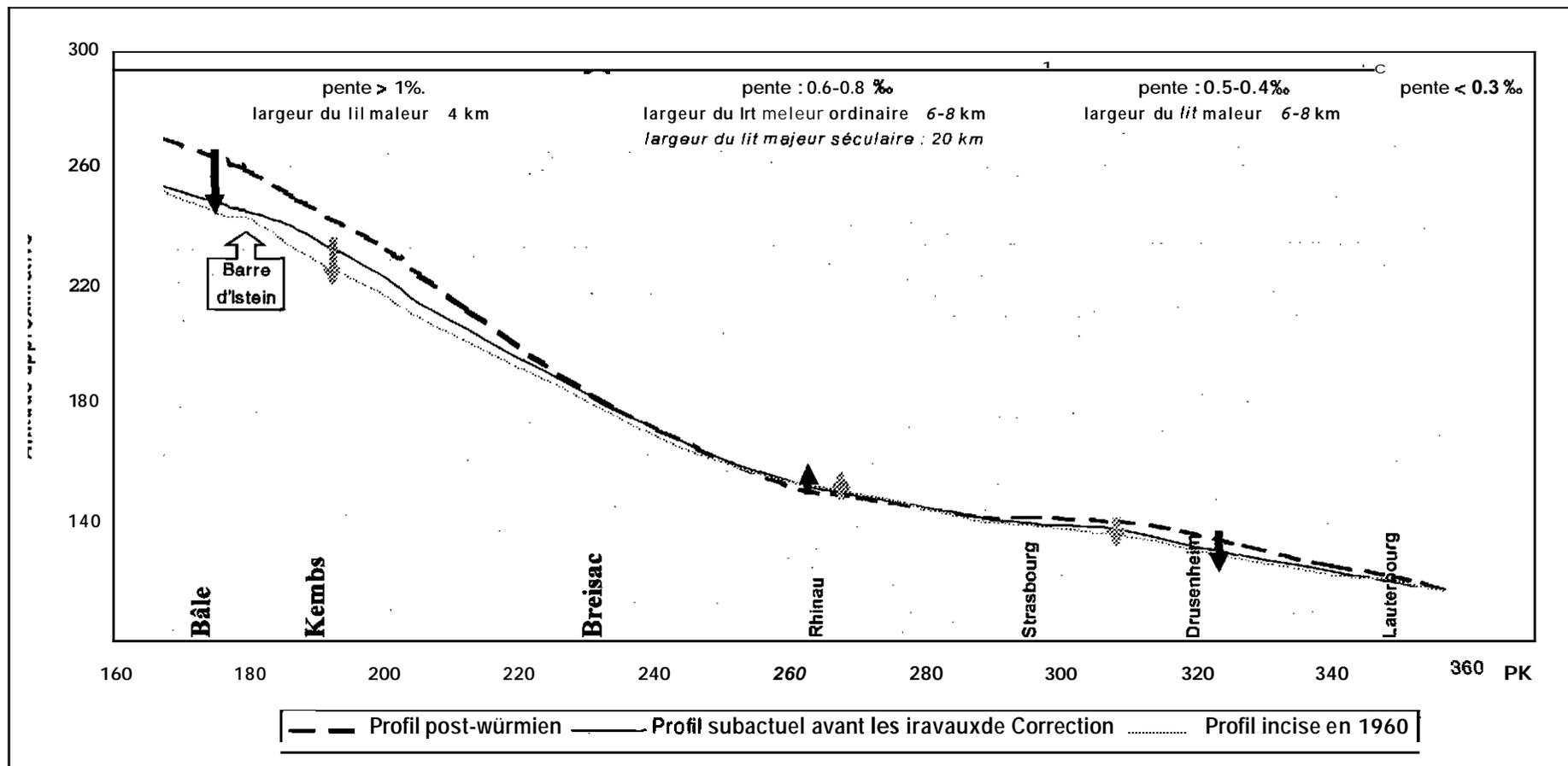
En conséquence, le profil longitudinal du Rhin s'est incisé sur les tronçons Bâle-Breisach et Strasbourg-Lauterbourg, et a eu tendance à se maintenir (voire à s'exhausser légèrement) dans la zone Breisach-Strasbourg (fig. 8). Il découle de cette évolution l'organisation sub-actuelle suivante de la plaine rhénane et de son réseau hydrographique :

2.3.1.2.2.1.1. Secteur Bâle-Breisach

En amont de Breisach, le Rhin entailla sur environ 12 m la terrasse würmienne (Hardt Rouge n, **fig. 9**), d'où un abaissement corrélatif de la surface piézométrique sur toute la largeur de la terrasse (Hirth, 1971 ; Carbiener, 1983a). Celle-ci fut, par ailleurs, localement affectée par des bombements diapiriques, ce qui accentua l'isolement de l'III par rapport au fleuve. Le lit majeur du Rhin (basse terrasse inférieure; Cloots-Hirsch, 1988), délimité à l'Ouest par un talus marqué, s'étendait alors sur une largeur de 3 à 4 km et était parcouru par de nombreuses tresses et anabranes (secteur des « tresses » de Carbiener). Au contraire, la terrasse würmienne fut asséchée par l'enfoncement de la nappe, ce qui y annihila quasiment tout écoulement superficiel.

La partie occidentale de cette terrasse würmienne contient l'III et son lit majeur (pente de 0,9 ‰). Ce dernier, isolé du Rhin par l'incision rhénane et les dômes diapiriques, se raccorde graduellement à la partie médiane de la terrasse würmienne sans qu'un talus soit visible (Hirth, 1971). Jusqu'à Sundhoffen, la Vieille Thur, la Lauch et leurs défluent (Durbach, Waldbach, Lonbach..) sont piégés dans une dépression longitudinale entre la terrasse würmienne et les formations quaternaires vosgiennes. La dynamique de l'III sur le secteur Mulhouse-Colmar, de type méandres divaguants, était très active avant la rectification de cette zone. Ceci est attesté par les premières éditions de la Carte d'Etat Major (1837 au Sud de Biltzheim, 1841 au Nord de Biltzheim), nos sites III7 et III8, ainsi que les traces de nombreux chenaux déconnectés au cours de l'aménagement de l'III mais dont certains sont encore visibles sur le terrain.

Figure 8 : Profil en long diachronique du Rhin de Bâle à Maxau à trois stades différents de l'évolution post-würmienne et contemporaine du lit du fleuve (adapté d'après Carbiener & Dillmann, 1992 et Commission Internationale de l'Hydrologie du Bassin du Rhin, 1977).



2.3.1.2.2.1.2. secteur Breisach-Strasbourg

Dans ce secteur, appelé « GranRied Central d'Alsace », le profil en long rhénan sub-actuel recoupe, voire domine insensiblement à hauteur de Rhinau (Carbiener, 1983a), le profil post-wünnien. En effet, le Rhin conserva dans ce secteur, au cours de l'Holocène, une dynamique d'accumulation sur le glaciaire alluvial. Il y déposa effectivement, du fait de la rupture de pente, par ailleurs accentuée par des mouvements tectoniques subsidents (Jung et Schlumberger, 1936 ; Hirth, 1971), une partie des alluvions déstockées par l'incision en amont. Le lit majeur séculaire du Rhin pouvait ainsi s'étaler sur toute la plaine alluviale, y compris le champ d'inondation de l'Ill, soit sur une largeur de 20 km environ. Le lit majeur ordinaire du Rhin, emboîté dans le précédent, s'étendait sur une largeur de 4 à 6 km (Hirth, 1971 ; Carbiener, 1983a). La limite occidentale de ce champ d'inondation régulier était globalement formée, au Sud de Marckolsheim par la « Hardt Grise », qui résulte du remaniement d'une partie de la terrasse würmienne (« Hardt Rouge »), et au Nord de Marckolsheim, par un système de levées post-romaines sub-parallèles au fleuve (« Ried Brun » de Carbiener). Ce compartiment, fréquemment inondé et siège d'une sédimentation importante (Hirth, 1971), était parcouru sur toute sa largeur par de très nombreuses tresses et anabranches fonctionnelles jusqu'à la correction du Rhin (secteur des « tresses et anastomoses » de Carbiener).

L'Ill quitte la terrasse würmienne entre Sundhoffen et Horbourg, secteur à forte pente (environ 2 ‰) sur lequel la rivière collecte la Vieille Thur et la Lauch. Plus en aval, et jusqu'à Eschau, l'Ill s'écoule dans une large dépression délimitée à l'Ouest par les cônes de déjection de la Fecht et du Giessen ainsi que par la terrasse d'Erstein, et, à l'Est, par la basse plaine rhénane et ses levées. Dans cette zone, la pente est comprise entre 0,6 et 0,8 ‰ (Hirth, 1971). Notons que le soulèvement tectonique de la terrasse d'Erstein, qui individualise la dépression du « Füed de l'h d l a u », date vraisemblablement du Würm moyen (Vogt, 1980). Auparavant, ces deux unités appartenaient intégralement à la plaine alluviale fonctionnelle rhénane.

Le secteur Colmar-Erstein comprend, entre le lit majeur ordinaire du Rhin et celui de l'Ill, une dépression particulièrement humide dénommée « Ried Noir » (Carbiener, 1983a). Ce compartiment fut soustrait aux submersions régulières à l'Holocène moyen (environ 6000 B.P.) par l'édification de deux ensembles de levées alluviales. A l'Est, il s'agit de levées rhénanes antérieures au Ried Brun, alors qu'à l'Ouest, le Ried Noir est limité par des levées de l'Ill (Carbiener, 1983a ; Hirth, 1971). Cette dépression cessa en conséquence d'être alluvionnée et évolua vers un bas marais calcique à sols hydromorphes localement tourbeux. En effet, le toit de la nappe y est particulièrement élevé du fait de la légère surélévation topographique de l'Ill et du Rhin exhaussés par leurs alluvions. Le régime des inondations par remontée de la nappe est calqué sur les variations de débit de l'Ill, avec cependant un décalage de l'ordre d'un mois (Carbiener, 1983a). C'est ce compartiment qui contenait avant les aménagements du Rhin la plupart des rivières exclusivement phréatiques (excepté lors des crues les plus importantes de l'Ill et du Rhin) de la plaine ello-rhénane.

Le développement exceptionnel du réseau de défluent rhénans et ellans 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 paléo-hydrologie du Rhin et de l'Ill.

Si de nombreux chenaux post-glaciaires furent comblés par la sédimentation fine holocène, certains d'entre eux restèrent fonctionnels parce qu'ils étaient plus ou moins connectés à l'amont à l'Ill ou au Rhin. Alors que pour certains chenaux cette connexion était pkrenne, pour d'autres elle n'était réalisée qu'au cours des submersions. De telles situations survenaient d'autant plus fréquemment que ces paléo-défluentés étaient proches de l'Ill ou du Rhin, mais pouvaient également survenir dans le Ried Noir. Il a par exemple été établi par des documents d'archives que la Rigole de Widensolen, essentiellement alimentée par la nappe avant la correction du Rhin, pouvait écouler des eaux rhénanes au cours des débordements les plus importants (Hirth, 1971). Il est possible que de tels épisodes aient pu désenvaser ce chenal. Toutefois, il est important de relever que de nombreux curages étaient effectués depuis au moins quatre siècles (voire sans doute davantage...) par les riverains afin de drainer les terrains agricoles avoisinants, de limiter les débordements et de faciliter le passage de divers engins flottants, comme l'atteste par exemple l'acte de création du Syndicat de rivière de l'Ischert (Syndicat de l'Ischert, 1846). En l'état actuel de nos connaissances, il est par conséquent malaisé de distinguer l'importance relative des deux facteurs (naturel et anthropique) pouvant expliquer la pérennité des rivières exclusivement phréatiques.

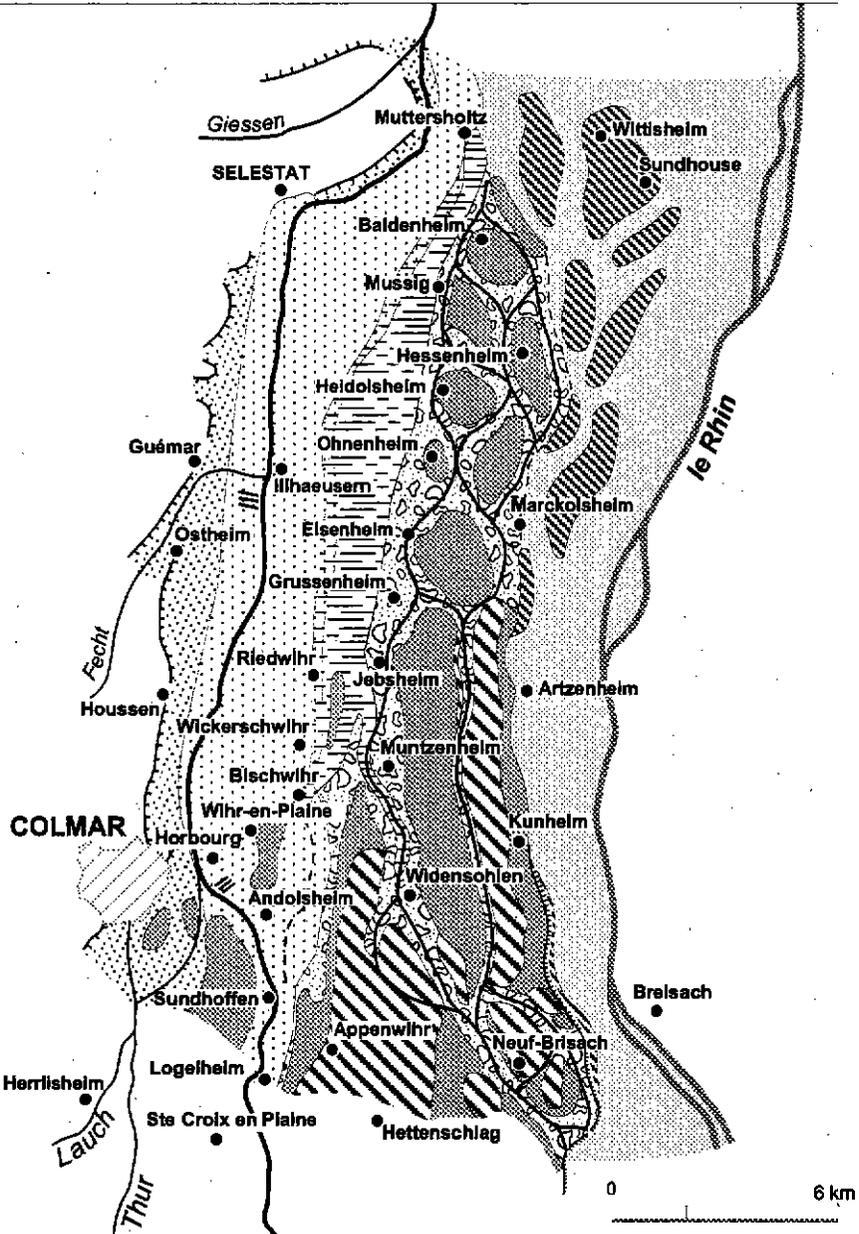
L'Ill présentait dans le secteur Horbourg-Eschau les signes indéniables d'un lit dynamique (petits bancs), bien qu'étant nettement moins active qu'en amont de Coimar-Horbourg, ainsi que de nombreux défluentés (d'après la carte de Le Rouge et Dien, 1802).

2.3.1.2.2.1.3. Secteur Strasbourg-Lauterbourg

Au Nord de Strasbourg, le lit majeur du Rhin est limité à l'Ouest par un talus sub-continu bordant la terrasse de Bischheim, la terrasse de la forêt de Haguenau et les collines mammo-calcaires de l'Outre-Forêt (Vogt, 1978). En raison de la diminution de la pente (0,4-0,5‰ et moins), le style fluvial à méandres de Rhin se substitue progressivement au style à chenaux multiples (secteur des « anastomoses et des méandres naissants » de Carbiener). De fait, le lit majeur encaissé (encaissement d'origine tectonique postérieur au Mindel, voire probablement plus récent ; Vogt et Ménillet, communication orale) s'est trouvé parcouru par de nombreux méandres ou anabranches du Rhin à longueur d'onde élevée (environ 3 à 4 km, comme pour les méandres sub-actuels rhénans). 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'Ill. En effet, en aval d'Eschau, la longueur d'onde des méandres de l'Ill est de 1,5 à 2 km, alors que plus en amont (par exemple au Sud d'Illhaeusem) elle ne dépasse pas 400 m alors que le débit à pleins bords n'y est que légèrement moins élevé.

Sur un plan morphodynamique, ces paléechenaux rhénans présentent depuis leur changement de mode d'alimentation, et donc depuis leur diminution de débit, une dynamique d'atténissement et de « contraction » (voir aussi paragraphe 2.3.1.3.5.). En outre, il résulte de ces caractéristiques de la plaine septentrionale que les rivières phréatiques (exceptés quelques fossés) sont rares au Nord de Strasbourg.

Figure 9 : Transition entre la terrasse würmienne et les formations géomorphologiques du Grand Ried Central d'Alsace (d'après Hirth, 1971, modifié).



- | | | | |
|---|---|---|--|
|  | terrasse et levées pluviales "Ried Brun" |  | limons de déboulement de 1111 "Ried Gris" |
|  | champ d'inondation des mégalithiques du Rhin |  | accumulation fluviale vosgienne (Thur, Lauch, Fecht, Weiss, Giessen) |
|  | limons, galets et graviers remaniés en surface jusqu'au XIX ^e siècle |  | cônes würmiens des rivières vosgiennes |
|  | terrasse würmienne du Rhin remaniée en surface "Hardt grise" |  | talus de la terrasse würmienne |
|  | dépôts fins de décantation, Préboréal à Atlantique "Ried Noir" |  | chenaux de crue fonctionnels (ou semi-fonctionnels) jusqu'au XIX ^e siècle |
|  | terrasse würmienne du Rhin non entamée "Hardt Rouge" | | |

Figure 10 : Les unités naturelles du Grand Ried Central d'Alsace (d'après Burckel et al., 1986, modifié).

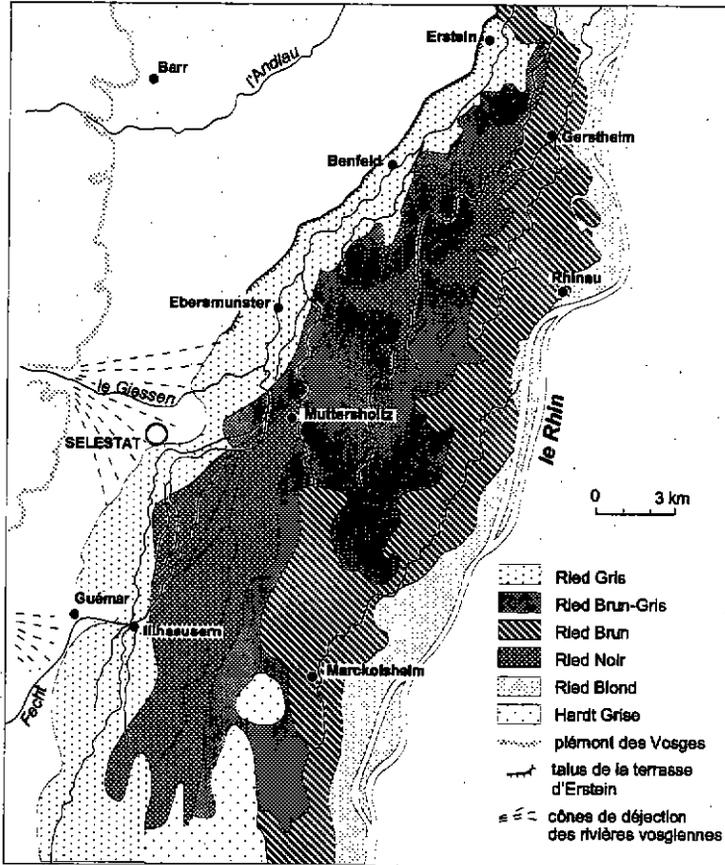
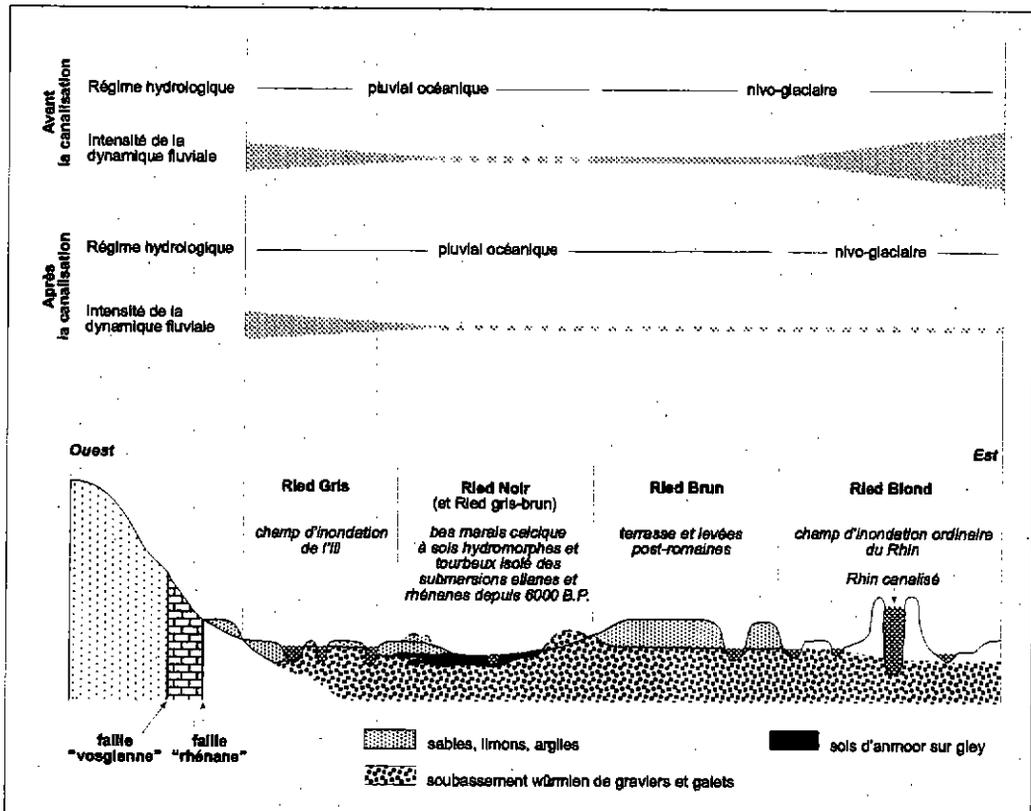


Figure 11 : Transect hydro-géomorphologique du Grand Ried Central d'Alsace (d'après Cabriener et Schnitzler, 1990, modifié).



2.3.1.2.2. Problèmes de **surimposition** de cours d'eau

Comme nous l'avons évoqué plus haut, la plaine rhénane a été le siège de nombreux mouvements tectoniques depuis le **Würm**. Dans ces conditions, certains cours d'eau ont pu se surimposer dans des terrasses affectées d'un soulèvement relatif. Les exemples les plus nets de surimposition dans la plaine sont sans doute la traversée de la terrasse d'Erstein, et plus au Nord de la terrasse de Schiltigheim (dont la formation remonte probablement au **Würm** moyen ; Vogt, 1980), par l'hdlau, l'Eh, la Scheer, la Bruche et la Souffel.

Dans ce secteur, le tracé de la Scheer montre un remarquable train de paléo-méandres dont la géométrie permet d'apprécier les anciennes conditions hydrologiques de la rivière*. La longueur de ces pal&-méandres étant de l'ordre de 1100 m, il est possible d'en déduire, à partir d'équations établies par divers auteurs (Dury, 1956, cité par Thorne, 1997 ; Richards, 1982), certaines caractéristiques hydrologiques et morphométriques du paléo-chenal (tabl. 1). Comme l'indiquent ces résultats, les débits et les dimensions actuels du lit de la Scheer sont sans comparaison avec ces caractéristiques au **Würm** moyen, ce qui prouve une très forte diminution des débits (débit à pleins bords environ 100 fois moins élevé). Par ailleurs, l'importance des débits würmiens de la Scheer pourrait notamment s'expliquer par l'apport d'une partie des débits de l'Il1 via le lit, aujourd'hui abandonné, de la Quer (entre Huttenheim et Kertzfeld ; Boudot et al., 1987). La Scheer pourrait donc avoir été, avant la déconnexion hydrologique de la Quer, un défluent ellan.

Notons enfin qu'une ébauche de néo-méandres à faible longueur d'onde (environ 100 m) s'est développée dans les paléo-méandres. Toutefois, leur faible développement, visible sur la carte de Le Rouge et Dien (1802) et la carte topographique de 1885³, indique que les débits de la Scheer sont aujourd'hui particulièrement indigents (alimentation par la Schemetz, dont le bassin est de petite taille, par une petite prise d'eau sur le Giessen via l'Aubach – environ 10 à 50 L.s⁻¹ ; communication orale de M. Louis⁴, quelques très petits affluents de rive gauche du Ruisseau du Saulager du **Fossé** du Blumbaechel, et par la nappe). L'emboîtement très net des petits méandres actuels (aujourd'hui effacés par des travaux de rectification) dans les amples pal&-méandres semble indiquer une diminution subite des débits, ce qui pourrait correspondre à un arrêt brutal des apports ellans par le lit de la Quer.

Tableau 8 : Comparaison de quelques caractéristiques hydrologiques et morphométriques de la Scheer dans sa traversée de la terrasse d'Erstein entre le **Würm** moyen et aujourd'hui.

		Paléo-chenal	Chenal actuel (site Scheer2)
Longueur d'onde	(m)	1100	≈ 100 avant rectif ²
Débit à pleins bords	(m ³ .s ⁻¹)	400	3,2
Largeur à pleins bords	(m)	90	7
Puissance spécifique	(W.m ⁻²)	22	5

² Le soulèvement de la terrasse a donc vraisemblablement été très bref, puisqu'il a été plus rapide que la migration des méandres.

³ En raison d'une rectification quasi-complète du lit de la Scheer, cette nouvelle sinuosité emboîtée dans les paléo-méandres n'est plus visible aujourd'hui.

⁴ DDAF67, Subdivision de Sélestat.

Par ailleurs, la Lachter s'est également surimposée, **mais** plus légèrement que la Scheer, dans la terrasse post-romaine du **Ried Brun** (Carbiener, 1983a). Dans ce cas, la morphométrie des paléo-méandres montre aussi que les paramètres hydrologiques (débits) de cette rivière ont fortement diminués depuis le 2^e siècle. Ce chenal a d'ailleurs probablement contribué à l'édification du **Ried Brun**, terrasse dans laquelle la Lachter s'est ultérieurement encaissée à la suite d'une légère incision du Rhin (Hirth, 1971). Les débits de la Lachter ont également fortement diminués, notamment en raison des aménagements rhénans, d'où une nette tendance à l'envasement de ce lit (voir infra).

2.3.1.2.3. EVOLUTION RECENTE DE L'ORIGINE ANTHROPIQUE DE LA PLAINE ET CONSEQUENCES HYDROLOGIQUES

2.3.1.2.3.1. impacts de la correction du Rhin

Comme l'illustre la figure 8, les impacts géomorphologiques des travaux de la correction du Rhin, spécifiques à chaque secteur longitudinal de la plaine, furent globalement similaires à l'évolution post-würmienne du lit majeur du Rhin. Nous nous limiterons ici aux impacts abiotiques ayant affecté le fonctionnement hydro-géomorphologique des cours d'eau de la plaine.

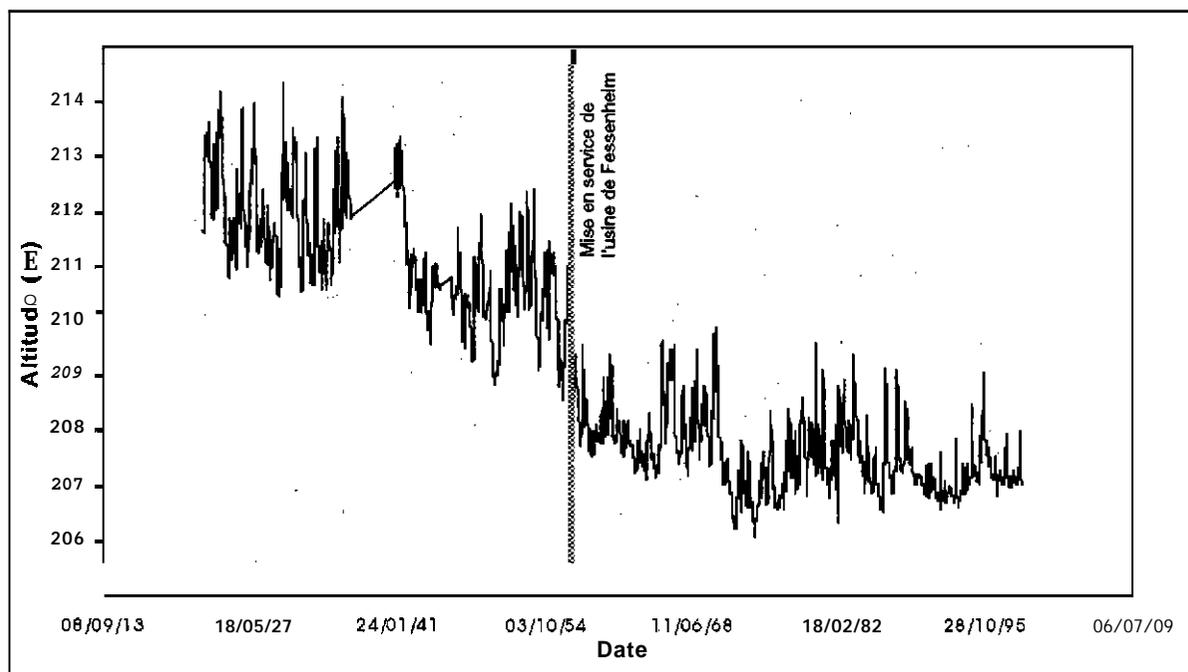
2.3.1.2.3.1.1 Secteur Bâle-Breisach

- Incision jusqu'à 7 m du lit mineur corrigé du **Rhin** (fig. 8), suivie d'un abaissement corrélatif du toit de la nappe sur toute la largeur de la plaine (Commission Internationale de l'Hydrologie du Bassin du **Rhin**, 1977; fig. 12). Cette incision du fleuve fut en outre accentuée d'environ 1 m par les travaux de la régularisation (Humbert et Descombes, 1985 ; Piegay et Sanchez, 2001).
- L'amplitude des battements du toit de la nappe phréatique resta relativement élevée à proximité du fleuve (2-3 m ; fig. 12), mais ne dépassa plus 1 m à l'extérieur des digues des hautes eaux (Carbiener, 1983a).
- Suppression brutale des inondations à l'extérieur des digues des hautes eaux, et suppression progressive des inondations dans l'espace interne aux digues, au fur et à mesure de l'incision du lit corrigé (Levy, 1982).
- Assèchement et disparition de la quasi-totalité des anabranches rhénanes sub-actuelles (Levy, 1982).
- L'enfoncement du toit de la nappe entraîna le tarissement de nombreuses sources phréatiques sur le transect Neuf-Brisach-Colmar (notamment les sources de la Blind et de la Rigole de Widensolen), **ainsi** qu'un raccourcissement de nombreuses rivières phréatiques dans cette zone (**Hirth**, 1971 ; Pautrat, 1990).

2.3.1.2.3.1.2.Secteur Breisach-Strasbourg

- Stabilité du profil longitudinal du fleuve, qui tend même à s'exhausser de **0,8** à 1 m à hauteur de Rhinau (Hirth, 1971 ; Carbiener, 1983a ; Maire et Sanchez, 1992 ; fig. 8), ce qui est vraisemblablement imputable à diverses raisons d'ordre géomorphologique : point d'inflexion du tracé du **Rhin** dans cette zone. néo-tectonique ?...
- Suppression des inondations à l'extérieur des digues des hautes eaux, mais maintien des submersions dans le comdor intra-digues, donc préservation partielle de la fonctionnalité des anabranches (« Giessen ») du **Rhin** (Lauterborn, 1925). La dynamique de ces chenaux fut tout de même fortement atténuée du fait de l'aménagement de prises d'eau sur la digue de correction qui réduisirent les apports d'eau. **En** outre, certains défluent rhénans extra-digues restèrent alimentés par le **Rhin** via des ouvrages de prise au niveau des digues des hautes eaux (Carbiener, 1983a), ce qui permit vraisemblablement de limiter l'envasement de **ces** lits.
- Suppression des submersions de toute la plaine pendant les crues séculaires. Donc suppression de la possibilité de désenvaser naturellement les rivières exclusivement phréatiques de la partie médiane de la plaine et atténuation de l'amplitude des battements de la nappe à l'extérieur des digues.
- Maintien du niveau piézométrique moyen dans l'ensemble de la plaine (fig. 13). De ce fait, l'alimentation phréatique des nombreuses rivières à influence phréatique de la plaine a été préservée (Carbiener, 1983a). Toutefois, leurs variations hydrologiques furent sans doute anénuées du fait de la diminution de l'amplitude des battements de la nappe à l'extérieur des digues.

Figure 12 : Variation hebdomadaire du toit de la nappe phréatique sur la rive droite du Rhin à Neuenburg (à hauteur de Chalampé) depuis 1922. Données : Landesanstalt Urnweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe, LFU, piézomètre 139/021-3. **NE** : l'**abaissement** du niveau piézométrique après la mise en service de l'usine de Fessenheim résulte de la forte diminution du débit du Vieux Rhin (débit réservé de $15 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) qui a entraîné une imppoante réduction de l'alimentation des eaux souterraines.



2.3.1.2.3.1.3. Secteur Strasbourg-Lauterbourg

- Faible incision du lit mineur corrigé, d'où un abaissement quasi-nul du toit de la nappe sur l'ensemble de la plaine.
- Suppression des inondations dans l'ancien lit majeur, excepté dans l'espace intra-digues. Il en résulte la conservation partielle de la fonctionnalité des anabranches (« Giessen » et « Altwasser ») du Rhin, dont la dynamique est également atténuée dans ce secteur. En outre, les défluent rhénans à l'extérieur des digues restèrent fréquemment alimentés par le Rhin via des ouvrages de prise au niveau des digues des hautes eaux, ce qui permit vraisemblablement de limiter l'envasement de ces lits.

2.3.1.2.3.2. Impacts de la canalisation du Rhin

Les impacts de la canalisation du Rhin, comparables dans les trois secteurs géomorphologiques de la plaine rhénane, sont les suivants :

- Suppression des inondations à l'intérieur des digues des hautes eaux, excepté sur les îles artificielles encore partiellement inondées (Marckolsheim, Rhinau, Gerstheim et Strasbourg) et en aval d'Iffezheim (secteur non canalisé du Rhin alsaco-badois).
- Il en découle une atténuation des oscillations du toit de la nappe, même à proximité du fleuve (de 1,5 m on passe à environ 0,3 m ; fig.12 et 13), excepté sur les îles artificielles précitées et en aval d'Iffezheim, ainsi qu'un rétrécissement de la zone de la nappe dont le régime est calqué sur celui du Rhin.
- Déconnexion généralisée des anabranches rhénanes. Les défluent déconnectés en amont ne furent plus alimentés que par la nappe et devinrent des « Bmnnenwasser », alors que les défluent totalement déconnectés devinrent des bras morts à eau stagnante (Carbiener, 1983a, 1983b).

En somme, les divers aménagements 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.

Figure 13 : Variation hebdomadaire du toit de la nappe phréatique sur la rive droite du Rhin à Wittenweier (à hauteur de Rhinau) depuis 1922. Données : Landesanstalt Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe, LFU, piézomètre 117/066-8.

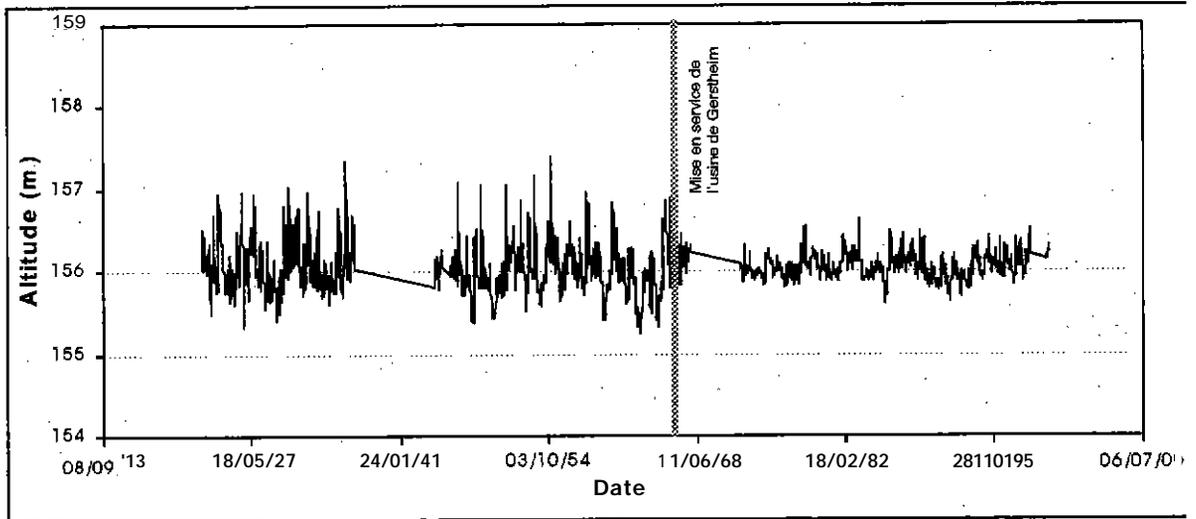
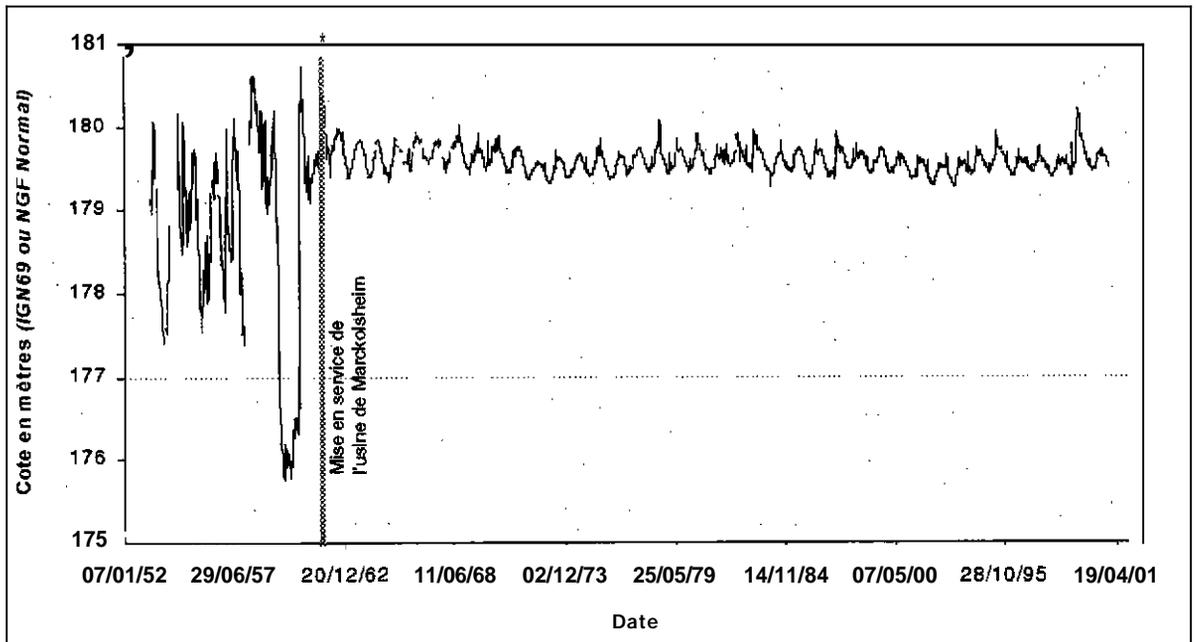


Figure 14 : Evolution hebdomadaire depuis avril 1953 de la cote du toit de la nappe d'un piézomètre situé à l'Ouest du bief d'amenée de l'usine hydro-électrique de Marckolsheim Est-Sud-Est d'Artzenheim. Données : AF'RONA, piézomètre 03435x0043. Remarque : le toit de la nappe est légèrement surélevé après la mise en service de l'usine car le piézomètre est situé quelques kilomètres au Sud de l'usine, c'est-à-dire dans sa zone de remous, ce qui y a rehaussé la nappe.



2.3.1.2.3.3. Impacts des aménagements de l'III

L'évolution récente du lit majeur de l'III (qui est d'ailleurs très peu documentée) et son fonctionnement hydrologique actuel peuvent être évoqués comme suit :

- Entre Mulhouse et Maison Rouge, l'III a subi au XIX^e siècle une rectification quasi-continue de son lit mineur, assortie d'un endiguement très étroit de son lit majeur. De fait, il ne reste aujourd'hui quasiment plus de traces de l'ancienne dynamique de l'III dans ce secteur, ni de ses défluent (Hirth, 1971), excepté au niveau de nos sites de mesure III7 et III8. Par ailleurs, la réduction de la recharge de la nappe consécutive à la diminution des inondations dans ce secteur y a vraisemblablement accentué l'enfoncement de la nappe (Hirth, 1971).
- En aval de Maison Rouge, le lit de l'III est nettement moins aménagé que plus en amont. Il a tout de même subi dans ce secteur quelques recoupements de méandres (Humbert et al., 1984 ; Pautrat, 1990). En outre, sa dynamique a été très fortement atténuée en aval d'Ehnwihir par la mise en place de nombreux barrages en amont desquels la pente de la ligne d'eau est fortement amoindrie (zone de remous).
- Néanmoins, à l'échelle du lit majeur, l'importance des inondations de l'III et les divers modes d'alimentation des défluent ellans font du champ d'inondation de l'III en aval de Maison Rouge et en amont d'Erstein un hydrosystème encore remarquablement fonctionnel.

2.3.1.2.3.4. Les inondations actuelles dans la plaine rhénane et modes de circulation des eaux dans les défluent

Bien qu'ils soient fréquemment associés, il est possible de distinguer trois types d'inondations dans la plaine rhénane (Cloots-Hirsch, 1988) :

- **Les** inondations par débordement des rivières allochtones. Il s'agit de l'III et des principaux affluents vosgiens à leur arrivée dans la plaine (Thur, Fecht, Giessen, Andiau...). **Les** inondations rhénanes sont aujourd'hui très **limitées** en Alsace. Elles affectent encore les îles artificielles de Marckolsheim **Rhinau**, Gerstheim et Strasbourg, ainsi que le lit majeur interne aux digues des hautes eaux au Nord d'Ifezheh mais ces compartiments ne s'intègrent **pas** dans la zone d'étude du présent **travail** ;

- Les inondations par remontée du niveau piézométrique au-dessus de la surface topographique. Ce mécanisme survient principalement dans les dépressions et les anciens chenaux. Il s'accompagne d'une augmentation du débit des rivières phréatiques parcourant la zone de remontée du toit de la nappe. Cependant, les débits (et donc les forces tractrices) sont généralement insuffisants pour induire une dynamique des chenaux, notamment car ils restent alors généralement inférieurs au débit à pleins bords ;

- Les inondations par défaut d'infiltration des précipitations. Ces inondations, très discontinues, surviennent principalement dans les dépressions à texture fine. Elles sont incapables d'engendrer une montée des eaux dans le réseau hydrographique de la plaine.

Au cours des hautes eaux des cours d'eau allochtones, une partie des débits transite fréquemment par des défluent connectés à l'amont au chenal principal. Depuis la canalisation du **Rhin**, ce mécanisme ne concerne quasiment plus que les défluent ellans, ainsi que quelques rares défluent de la Thur, de la Fecht ou du Giessen. Ces connexions amont peuvent être pérennes (Bornen, Bannwasser...) ou temporaires (Lutter, Bronnwasser, Orbach...). Dans ce dernier cas, la connexion hydrologique est exclusivement assurée pendant les submersions qui atteignent les défluent. Ces derniers peuvent alors évacuer une partie des eaux débordantes et voir leur débit très fortement augmenter (par exemple l'ûrnbach en aval de Maison Rouge, cf. infra).

La Zembs, qui est partiellement alimentée par ce mécanisme, peut créer dans ces conditions un remous dans des affluent exclusivement phréatiques de rive droite. Dans ces lits, les hauteurs d'eau peuvent alors être très élevées, bien que les débits y restent faibles (observation sur le Laufgraben au cours de la crue d'octobre-novembre 1998).

De telles situations peuvent également apparaître aux points de connexion 'aval des défluent de l'III. Dans ce cas, les niveaux d'eau des défluent sont principalement contrôlés par les nombreux barrages de l'III. Si la confluence se situe dans la zone de remous en amont d'un barrage, le remous peut s'étendre dans une partie du lit du défluent. Ceci y annihile alors toute activité morphodynamique, même si des pics de crue peuvent y transiter (Hanfgraben). Par contre, si la confluence n'est pas comprise dans une zone de remous et que le défluent évacue des hautes eaux ellanes, la dynamique du chenal peut persister quasiment jusqu'à la confluence (Bomen, Lutter, Bronnwasser...).

2.3.1.2.3.5. Les &changesnappe-rivière

2.3.1.2.3.5.1. Estimation desflux

On estime que la nappe phréatique alsacienne est globalement alimentée à hauteur de 200 millions de m³/an par les précipitations efficaces, de 700 millions de m³/an par l'III et les affluent vosgiens, et de 400 millions de m³/an par le Rhin. Les flux entrants sont donc en moyenne de 1,3 milliards de m³/an (Zilliox, 1990), alors que les flux sortants par drainage de l'aquifère par les rivières de la plaine (rivières allochtones, défluent ello-rhénans actuels ou anciens) sont estimés par Migayrou (1990) à 900 millions de m³/an. Cependant, à plus grande échelle, les flux napperivière peuvent être à double sens du fait de la variation longitudinale de la profondeur du niveau piézométrique et des oscillations temporelles de ce dernier.

Les cours d'eau originaires des Vosges du Sud et moyennes voient généralement leur débit diminuer par infiltration vers les eaux souterraines au niveau de leurs cônes de déjection et, le **cas échéant**, de la plaine rhénane proprement dite lorsque la nappe est suffisamment profonde, c'est-à-dire globalement en amont de Colmar. Ainsi, la Thur perd entre Thann et Ensisheim au cours des mois de juillet, d'août et de septembre en moyenne environ 0,5 m³.s⁻¹ (Maire, 1986). Au cours des mois de juillet et d'août 1982 une campagne de jaugeages différentiels a permis d'estimer les pertes à 90 l.s⁻¹.km⁻¹ sur le tronçon Thann-Staffelfelden et **sur** la partie terminale du cours en aval de la diffluence de la Vieille Thur (Maire, 1986). Cette

dernière perd par infiltration la moitié de son débit, soit un volume de près de **25 millions de $m^3.an^{-1}$** , et donc des pertes par unité de longueur du chenal de **$30 l.s^{-1}.km^{-1}$** . Les pertes par infiltration des eaux de la Lauch sur son cône et dans la plaine, entre Guebwiller et Eguisheim, s'élèvent à environ **$130 l.s^{-1}.km^{-1}$** (Humbert et Maire, 1984). Le même type d'échange rivière→nappe a également été mis en évidence sur le Giessen à hauteur de son cône de déjection (Wilms, 1982).

Les échanges nappe-rivière de l'IlI et des cours d'eau de plaine ont été résumés par Esteves (1989 ; d'après les travaux de Migayrou, 1976, Lettermann, 1977 et Leblois, 1984) comme suit :

- entre Ensisheim et Colmar, l'IlI, qui est perchée par rapport à la surface piézométrique, alimente la nappe en année moyenne de **$200 l.s^{-1}.km^{-1}$** ;

- de Colmar à Illhaeusern, l'infiltration moyenne vers l'aquifère est encore de 90 à 170 U s h .

Migayrou (1990) estime quant à lui que les pertes annuelles moyennes de l'IlI entre Ensisheim et Horbourg s'élèvent à 120 millions de m^3 , soit un débit moyen de l'ordre de **$3,65 m^3.s^{-1}$** et une infiltration linéaire moyenne de **$130 l.s^{-1}.km^{-1}$** . Toutefois, cet auteur précise que sur le tronçon Oberhergheim-Horbourg, l'IlI draine la nappe lorsque celle-ci est particulièrement élevée, ce qui s'est produit au cours de **15 %** des mois de la période 1971-1985.

En basses eaux, les pertes de l'IlI vers la nappe entre Ensisheim et Oberhergheim peuvent conduire à un assèchement du lit. Dans ces conditions une part importante du débit de l'IlI en aval d'Oberhergheim, et surtout en aval de Colmar, provient de l'aquifère, la seconde part provenant des affluents (Fecht, Giessen, Andlau...) ainsi que par une prise d'eau sur le « bief de Niffer » dont la capacité actuelle est de **$2 m^3.s^{-1}$** , mais qui devrait passer prochainement à une capacité de **$5 m^3.s^{-1}$** (M. Brice, communication orale).

Au Nord de Colmar, Leblois (1984, cité par Esteves, 1989) estime que l'ensemble du réseau hydrographique draine entre Colmar et Sélestat près de **$8 m^3.s^{-1}$** . Cette estimation moyenne, qui cache cependant d'importantes fluctuations saisonnières, souligne l'importance du drainage de la nappe par les cours d'eau du Grand Ried Central d'Alsace. Plusieurs campagnes de jaugeages différentiels entre 1996 et 1998 ont montré que le réseau hydrographique de l'iliwald (ni, défluent ellans, rivières phréatiques) draine entre **1,4 et $6 m^3.s^{-1}$** , selon le débit de l'IlI et la piézométrie du secteur (données originales de G. Maire, cité par Kiliian et Resch, 1998). Encore plus en aval, Migayrou (1990) établit un bilan du drainage de l'aquifère par les rivières phréatiques au niveau d'un transect Rossfeld-Boofkheim de 70 millions de $m^3.an^{-1}$, soit un débit moyen de **$2,2 m^3.s^{-1}$** .

On voit donc que les données concernant les échanges nappe-rivière dans la plaine rhénane sont relativement éparpillées. En effet, compte tenu du nombre restreint de stations hydrométriques en plaine, ces chiffres s'appuient dans la majorité des cas sur des jaugeages

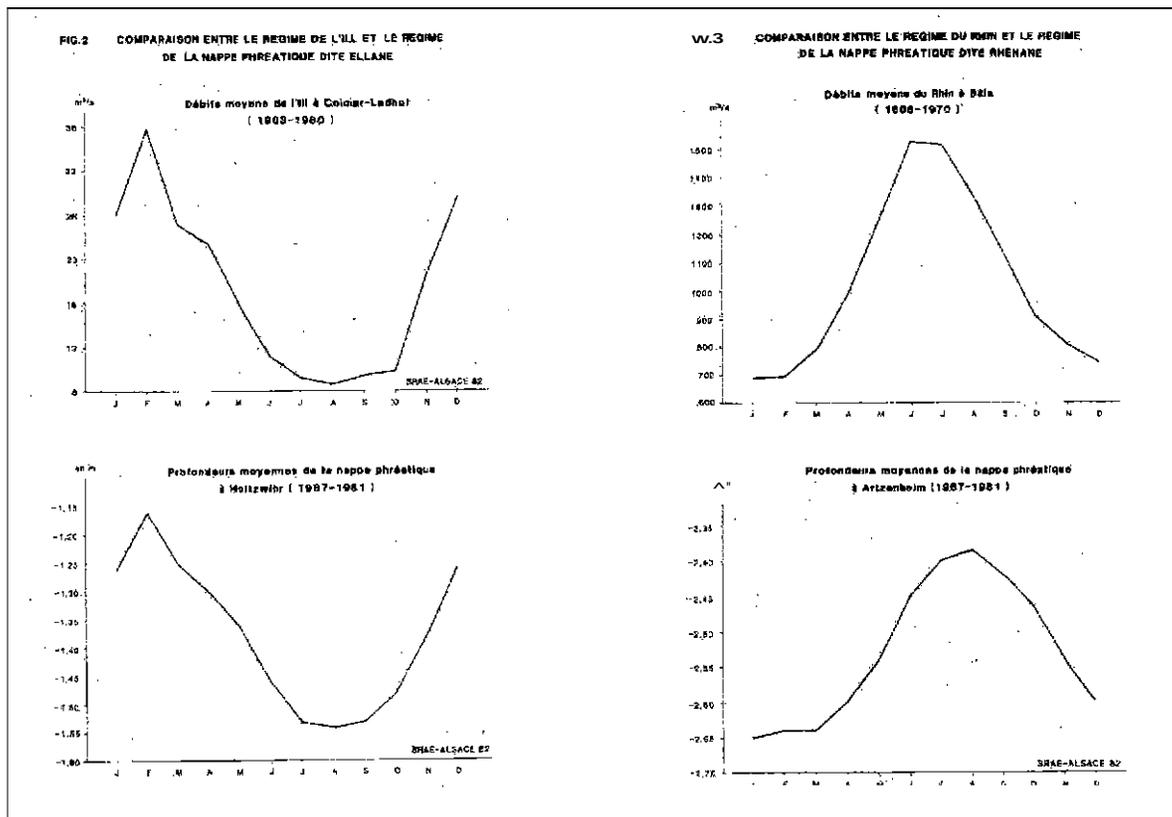
⁵ Conseil Général du Haut-Rhin.

différentiels ponctuels, ce qui ne peut donner qu'une vision très pauvre des échanges nappe-rivière **dans** la plaine rhénane. **En** outre, il conviendrait de pouvoir également quantifier le drainage de la nappe entre Benfeld et Strasbourg, ainsi qu'entre Strasbourg et la confluence de la Sauer dans le Rhin. Malheureusement, de telles données semblent ne pas exister pour l'heure. Toutefois, nonobstant l'absence de données plus précises, les études réalisées permettent d'appréhender assez grossièrement les échanges nappe-rivière dans les différentes unités naturelles de la plaine rhénane, ce qui paraît suffisant pour la présente expertise.

2.3.1.2.3.5.2 Régimes hydrologiques des rivières phréatiques

Les fluctuations du toit de la nappe de la plaine d'Alsace sont calquées sur les variations hydrologiques de l'Ill et du Rhin. A proximité du Rhin la nappe est donc haute en été (juin-juillet-août-septembre), alors que dans la zone d'influence de l'Ill la piézométrie est élevée en hiver et au début du printemps (janvier-février-mars-avril). De fait, les variations hydrologiques saisonnières des rivières à alimentation exclusivement phréatique suivent fidèlement ces variations piézométriques (fig. 15). Nous proposons de dénommer respectivement les régimes hydrologiques des rivières phréatiques des nappes de l'Ill et du Rhin « pluviabcéanique pondéré » et « nivo-glaciaire pondéré ». Notons que la limite entre les deux zones d'influence de la nappe, à régime presque opposé, se situait, avant la canalisation du Rhin, aux environs du Canal du Rhône au Rhin, alors que depuis cet aménagement elle semble s'être déplacée vers l'Est, la zone d'influence rhénane s'étant considérablement réduite (cf. parag. 2.3.1.2.4.).

Figure 15 : Comparaison entre les régimes de l'Ill et du Rhin et les régimes respectifs de leur nappe phréatique associée (d'après Cloots-Hirsch, 1988).



2.3.1.2.3.5.3 Modes d'alimentation des rivières phréatiques

Le drainage des eaux souterraines par les rivières phréatiques peut être assuré par divers mécanismes. Lorsque le drainage est progressif de l'amont vers l'aval les apports proviennent de sources limnocrènes échelonnées le long du chenal. A l'inverse, de nombreuses rivières phréatiques prennent naissance au niveau d'exurgences de la nappe pouvant déborder plusieurs dizaines, voire quelques centaines, de $l.s^{-1}$. Ces sources, dites holocrènes, sont hautement caractéristiques du Grand **Ried** Central d'Alsace, particulièrement du **Ried Gris** et du **lüed Noir** (par exemple du Trullygraben; Meier-Brook, 1960). Ce mécanisme est généralement **lié** à une mise en charge de la nappe sous une couche argileuse (nappe captive ou « pseudo-artésienne»), une interruption locale de celle-ci permettant l'apparition de l'exurgence (Cloots-Hirsch, 1988), surtout en présence dans l'aquifère de faciès sédimentaires à texture grossière (anciens chenaux...). Par contre, les sources limnocrènes peuvent résulter aussi bien d'une mise en charge de la nappe que, dans le cas d'une nappe à surface libre, d'un simple recoupement de la surface piézométrique par le chenal (Cloots-Hirsch, 1988).

Il est clair qu'en fonction de la position de la ligne d'eau par rapport au niveau piézométrique et de la texture de l'aquifère, une même rivière peut combiner le long de son cours ces divers modes d'alimentation phréatique. Le cas échéant, le sens des échanges nappe-rivière peut localement s'inverser (Killian et Resch, 1998).

2.3.1.2.4 FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE DES DEFLUENTS ET PALEO-DEFLUENTS SELLE RHÉNANS < QUELQUES PRÉCISIONS

Comme le fonctionnement hydrologique des défluent ello-rhénans est le principal facteur de contrôle de la morphodynamique de ces chenaux, il paraît important d'apporter ici quelques précisions à ce sujet. Malheureusement, bien que le fonctionnement hydrologique de ces défluent soit a priori très diversifié (modalités de circulation des eaux débordantes de l'111 dans la plaine, modalités des oscillations piézométriques...), l'hydrodynamique de ces rivières est extrêmement mal connue car très peu de données limnimétriques ont été enregistrées et, quand elles existent (le Hanfgraben à Sand, le Hanfgraben à Wittemheim, et l'ûrçbach à Illhaeusern ; Migayrou, 1985, 1990 ; Banque **HYDRO**), elles ne couvrent que quelques années (respectivement six, cinq et deux ans pour les trois rivières citées). On peut tout de même noter l'existence de quelques sources de données additionnelles :

- une campagne de **18** séries de jaugeages effectués par le C E E R G (données originales communiquées par G. Maire) en 8 points du réseau hydrographique des défluent du Grand **Ried** Central d'Alsace entre février 1982 et février 1983 pour le compte du SEMA-DIREN/Alsace. Ces données permettent d'apprécier et de comparer les variations de débits de ces défluent, au cours d'un cycle hydrologique. Par ailleurs, ces jaugeages ont permis au SEMA-DIREN/Alsace de reconstituer, à partir de données piézométriques (Migayrou, 1990), les débits mensuels des ces défluent sur la période 1955-1984 (Dubant⁶, communication

⁶ SEMA-DIREN/Alsace

orale). Cependant, ces résultats n'ayant pas été validés jusqu'à aujourd'hui (Dubant, communication orale), nous ne les utiliserons qu'avec circonspection ;

- une campagne de 70 jaugeages effectués par le CEREG (Maire et Blumenroeder, 1987) sur des défluent du Grand **lüed** Central d'Alsace pendant l'été 1987 pour le compte de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse. Ces données peuvent permettre d'établir des profils hydrologiques de cours d'eau drainant la nappe. Nous n'y aurons toutefois pas recours et nous contenterons d'établir des profils hydrologiques diachroniques de l'Orchbach d'après des données d'Esteves (1989) ;
- les données concernant les débits de l'Orchbach annexées à la thèse d'Esteves (Esteves, 1989). Il sera ainsi possible de distinguer le fonctionnement hydrologique d'un défluent à alimentation exclusivement phréatique (Orchbach amont, rarement affecté par les inondations de l'III), de celui **d'un** défluent à alimentation superficielle temporaire (Orchbach aval, évacuant régulièrement des eaux débordantes ellanes).

2.3.1.2.4.1. Variations hydrologiques annuelles de quelques défluent ello-rhénans

La figure 16, établie à partir des données de G. Maire, donne d'une part les débits journaliers de **III** et du Rhin au cours de la période février 1982-février 1983, et d'autre part les débits instantanés mesurés en 8 points du réseau de défluent de la plaine ello-rhénane pendant 18 campagnes de jaugeages au cours de la même période. L'analyse de cette figure appelle les commentaires suivants :

- **l'III**, et plus généralement tous les cours d'eau allochtones, présente un régime hydrologique nettement plus excessif que celui des 8 défluent ello-rhénans pris en compte pour lesquels la variabilité hydrologique est généralement faible ;
- deux défluent semblent présenter, d'après un examen visuel de la figure, des variations hydrologiques sensiblement plus marquées: la Zembs et, dans une moindre mesure, le Friesengraben. Cette tendance est confirmée par les coefficients de variation des 18 jaugeages effectués sur chaque site qui sont effectivement plus importants pour ces deux défluent (respectivement **0,5** et **0,63**, contre des valeurs oscillant entre **0,17** et **0,40** pour les autres défluent⁷). Comme nous l'avons évoqué plus haut, les hautes eaux particulièrement importantes de la Zembs (près de **4,88 m³.s⁻¹** le 17/12/82) proviennent en grande partie d'eaux débordantes de l'III, mais une proportion non négligeable de ces débits provient également du Friesengraben. Les hautes eaux très marquées de ce dernier (**1,7 m³.s⁻¹** le 17/12/82) résultent de la faible distance (localement moins de 100 m) entre le chenal du Friesengraben et la digue des hautes eaux de l'III en aval de Muttersholtz (M. Louis, communication orale). Même si les eaux ellanes n'atteignent pas directement le Friesengraben, les niveaux d'eau à l'Ouest de la

⁷ Excepté pour le Lehgraben pour lequel le coefficient de variation est exceptionnellement élevé (=0. @) en raison de l'étiage très marqué de ce cours d'eau, ce qui tend à exagérer la variabilité de l'écoulement. Cette tendance se retrouve également en employant, au lieu du coefficient de variation, le rapport du débit maximal au débit minimal.

digue ($\approx 1,5$ m au-dessus de la surface du sol) atteints pendant les débordements de l'III mettent en charge la nappe à l'Est de la digue. Dans ces conditions, le débit du Friesengraben peut atteindre des valeurs élevées par simple drainage de la nappe ;

- en dehors des deux situations précitées, les débits des défluent restent généralement faibles : fréquemment moins de $0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, c'est-à-dire nettement moins que les débits à pleins bords estimés dans le cadre de notre campagne de mesures qui dépassent le plus souvent $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. De fait, il est logique que les forces tractrice soient insuffisantes pour induire une véritable activité morphodynamique, ou pour empêcher l'envasement de ces chenaux ;
- les variations hydrologiques de l'unique défluent alimenté partiellement par des prises d'eau (le Scheidgraben, qui est en fait la Blind, à hauteur d'Ohnenheim) sont les plus faibles des **8** défluent : coefficient de variation seulement de 1,17. En effet, dans ce secteur, les **eaux** de débordement de l'III n'atteignent pas encore la Blind, les hautes eaux sont donc relativement peu marquées (maximum de $0,67 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ le **16/12/82**), alors que les basses eaux sont soutenu= par les apports artificiels (minimum de $0,40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ le **9/7/82**) ;

les variations hydrologiques des défluent semblent davantage contrôlées par les débits de l'III que par ceux du Rhin : faible crue en juillet-août lors d'une longue crue rhénane et de deux crues mineures de l'III, contre une montée des eaux nettement plus sensible des défluent en novembre-décembre-janvier pendant d'importantes crues de l'III et des crues relativement brèves du **Rhin**. Cette tendance est par ailleurs confirmée lorsque l'on raisonne sur des périodes plus longues : hautes eaux en janvier-février-mars (voire avril pour le Hanfgraben à Sand) et basses eaux en août-septembre (données : Esteves, **1989**, II1 sur la période **1959-1987** ; Banque HYDRO, Hanfgraben à Sand et Hanfgraben à Wittenheim, respectivement sur les périodes **1985-1990** et **1981-1985**). Il est par ailleurs remarquable de constater que cette prédominance de l'influence de l'III sur l'hydrodynamique des défluent est également perceptible dans le Ried Brun. Ce phénomène s'observe aussi bien sur la figure **16** qu'à partir des reconstitutions de débits effectuées (**mais** non validées) par le SEMA-DIREN/Alsace entre **1955** et **1984**. **Ceci est** probablement **lié** aux aménagements du Rhin (Correction, impacts géomorphologiques de la Correction, Canalisation) avant lesquels la zone de la nappe sous « régime nivo-glaciaire » était sans aucun doute plus étendue vers l'Ouest (cf. figure 11).

L'exploitation de ces données hydrologiques souligne que l'hydrodynamique des défluent et paléo-défluent ello-rhénans peut (et doit) être différenciée. Il en résulte une morphodynamique également différenciée. Alors que ces premières considérations d'ordre hydrologique restent relativement sommaires, les développements ci-dessous nous permettront de préciser sensiblement le fonctionnement hydrologique de ces chenaux à partir de l'exemple de l'orchbach.

Le débit de l'Orchbach à Illhaeussem a été mesuré en continu pendant l'année 1986 par un limnigraphe dans le cadre de la thèse d'Esteves. L'estimation de la composante phréatique du débit de l'Orchbach repose sur l'enregistrement journalier d'un piézographe situé dans la Forêt Domaniale de l'Orch, à 7 km en amont d'Illhaeussem, dans une zone rarement inondée par débordement de l'III (fig. 17). L'ajustement débit-niveau piézométrique repose sur la profondeur de la nappe du même jour que la mesure du débit (Esteves, 1989). A l'instar des relations proposées par Migayrou (1985) ou Esteves (1989), la relation que nous avons établie

2.3.1.2.4.2.1. Mise en évidence de la composante phréatique de l'Orchbach aval (Illhaeussem)

2.3.1.2.4.2. L'exemple du fonctionnement hydrologique de l'Orchbach (données : Esteves, 1989)

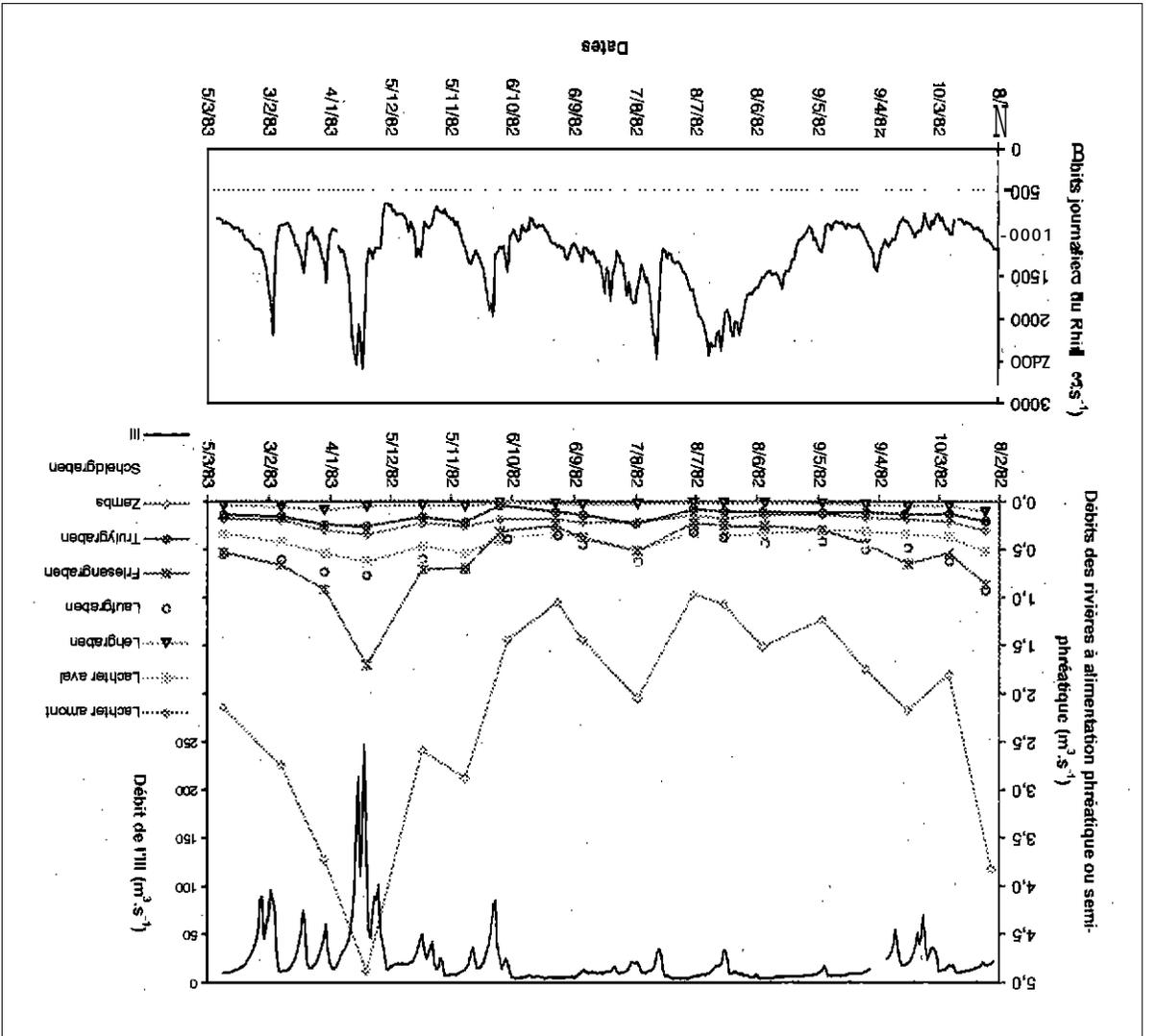
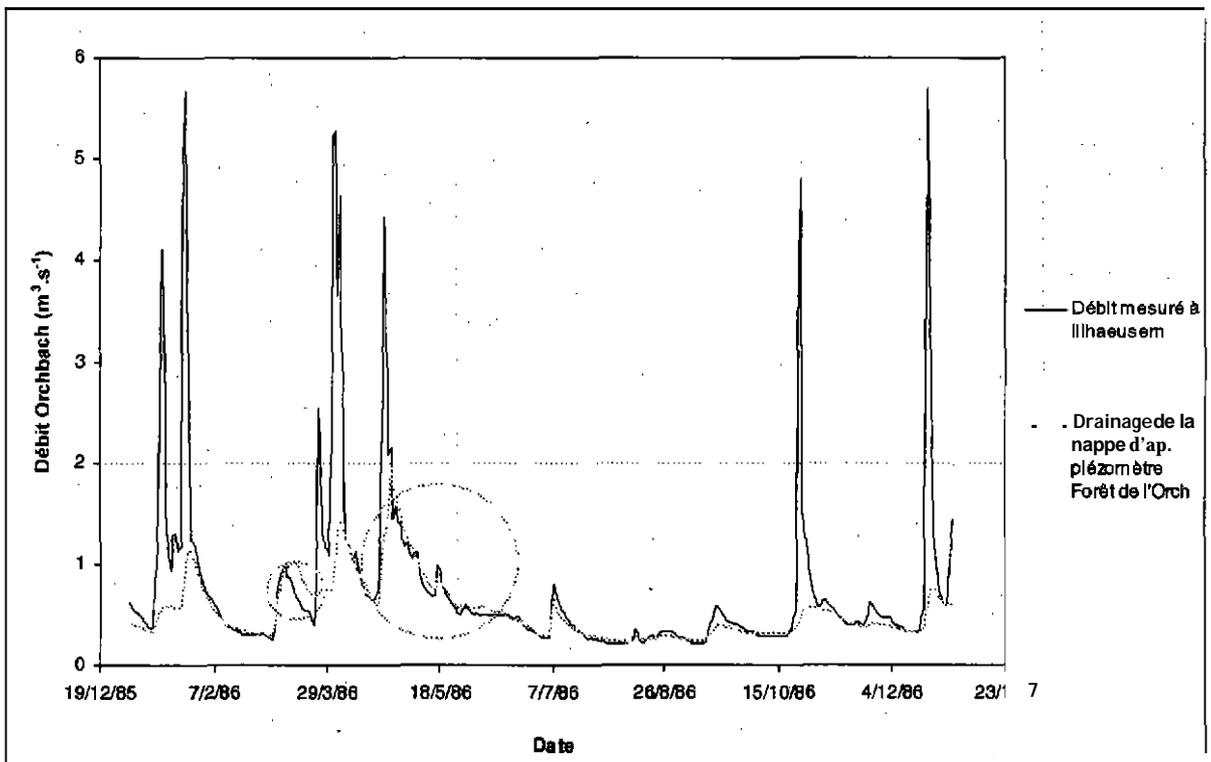


Figure 16 : Variations hydrologiques de l'III à Colmar-Ladort (Banque HYDRO), du Rhin à Strasbourg (Service de la Navigation de Strasbourg) et de quelques défluent et paléo-défluent à alimentation phréatique ou semi-phréatique du Ried central d'Alsace (données : G. Maire). Période Février 1982 - Février 1983.

est de type « exponentiel » (fig. 18). Les imprécisions soulignées en pointillés dans la figure 17 trouvent les explications suivantes :

- l'établissement de la courbe d'ajustement repose sur l'exploitation de seulement douze jaugeages. En effet, cinq jaugeages réalisés par Esteves (1989) au cours de débordements de l'Ill n'ont pas été pris en compte car le débit de l'Orchbach ne reflète pas dans ces conditions le simple niveau piézométrique. De même, les cinq jaugeages effectués en 1985 ont été exclus car nous ne disposons pas de l'enregistrement de cette année du piézographe de la Forêt de l'ûrch. En effet, ces données ne sont pas disponibles auprès de l'APRONA ;
- les variations du niveau piézométrique de l'année 1986 sont nettement plus étendues que la gamme des battements de nappe pris en compte pour l'établissement de la relation d'ajustement. Or, en toute rigueur, cette relation ne devrait être utilisée que dans la limite des variations piézométriques pour lesquelles elle a été établie (Esteves, 1989).

Figure 17 : Exemple de fonctionnement hydrologique d'un paléo-défluent ellan à alimentation mixte évacuant pendant les inondations des eaux de débordement de l'Ill: l'Orchbach à Illhaeusern.



Malgré ces inconvénients, la figure 17 donne un bon aperçu du fonctionnement hydrologique d'un défluent ellan à alimentation mixte avec formation de pics de crue d'origine superficielle, en individualisant la composante phréatique de l'ûrchbach à Illhaeusern durant un cycle hydrologique annuel. A partir de la même méthode, la figure 19

décompose l'hydrogramme de deux crues successives sur un laps de temps nettement plus court (environ un mois).

Par ailleurs, on note qu'il n'existe pas de « seuil » de débit de l'Orchbach au delà duquel ce lit commence à évacuer les eaux débordantes de l'Ill. En effet, le seuil de modification du comportement hydrologique de l'Orchbach est le débit à pleins bords de l'Ill dans le secteur du Ried de Colmar (soit un débit de l'ordre de $100 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, voire localement moins ; Estéves, 1989 ; fig. 20). Quand cette situation survient, le débit initial de l'Orchbach résultant du drainage exclusif de la nappe est fonction de la situation piézométrique à cet instant.

Figure 18 : Relation entre le niveau piézométrique dans le Bois de l'Orch et le débit de l'Orchbach à Illhaeusern.

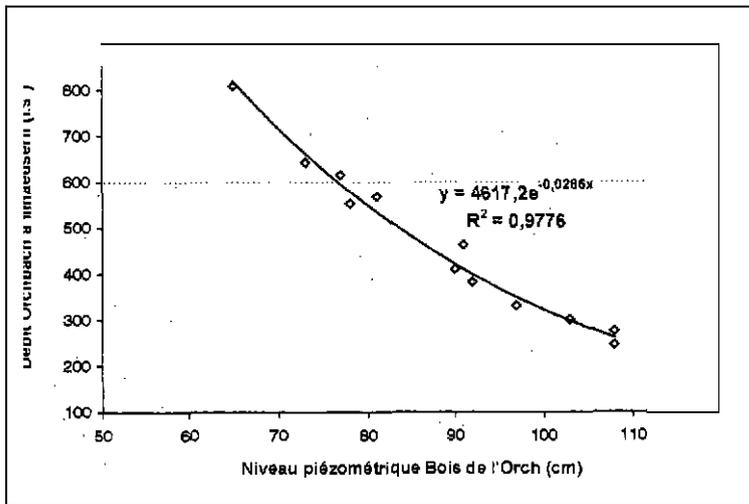


Figure 19 : Décomposition d'un hydrogramme de crue de l'Orchbach à Illhaeusern (entre le 06/01/86 et le 25/02/86).

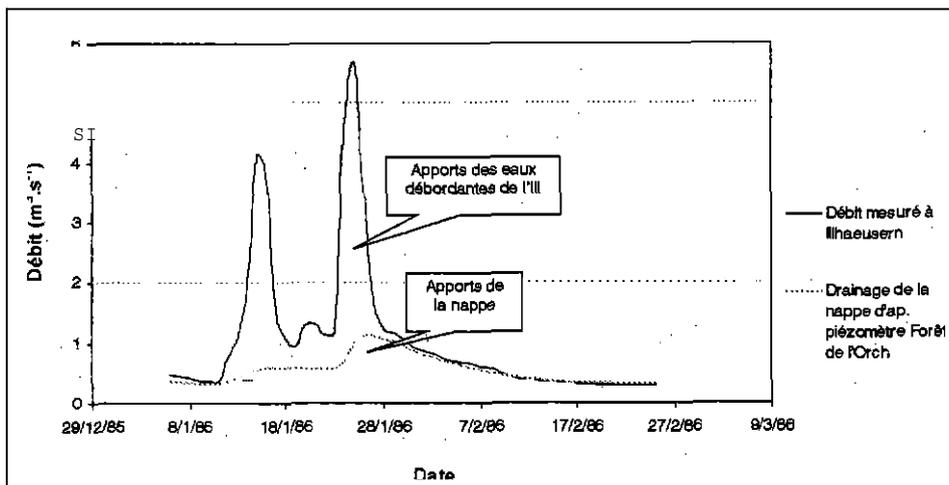
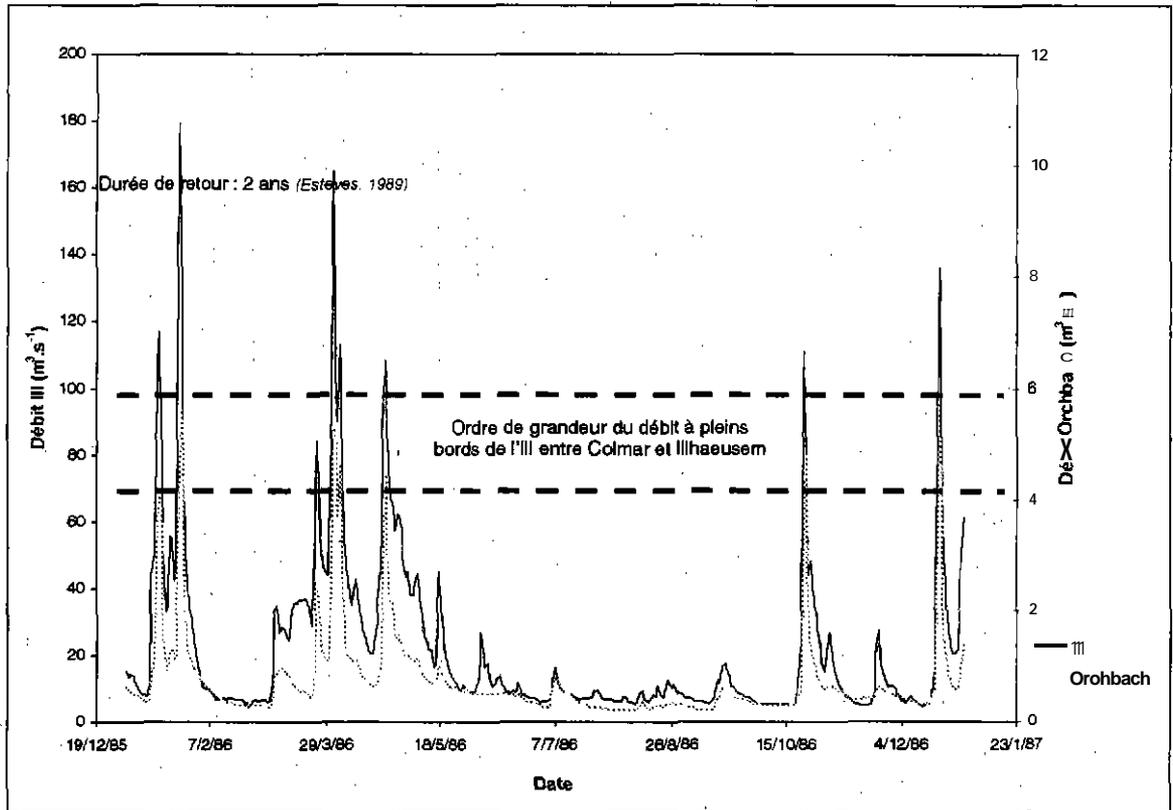


Figure 20 : Comparaison de l'hydrogramme de l'Ill à Colmar-Ladhof et de l'Orchbach à Illhaeusern durant l'année 1986.



2.3.1.2.4.2 Evolution longitudinale des débits de l'Orchbach

La figure 21 compare les débits journaliers de 1986 de l'Orchbach en deux points de son cours : un point amont (ORC3), situé dans le Bois de l'Orch, une zone rarement inondée par l'Ill, et le point aval à Illhaeusern (ORC1), qui draine un espace fréquemment submergé. Le contraste entre la pondération de l'écoulement dans la zone non inondable et la relative excessivité de l'écoulement dans la zone inondable est marquant. Ceci est corroboré par les coefficients de variation, qui sont respectivement de **0,57** et **1,16**, ainsi que par le rapport des débits journaliers extrêmes, qui sont respectivement de **10,9** et **27,2**.

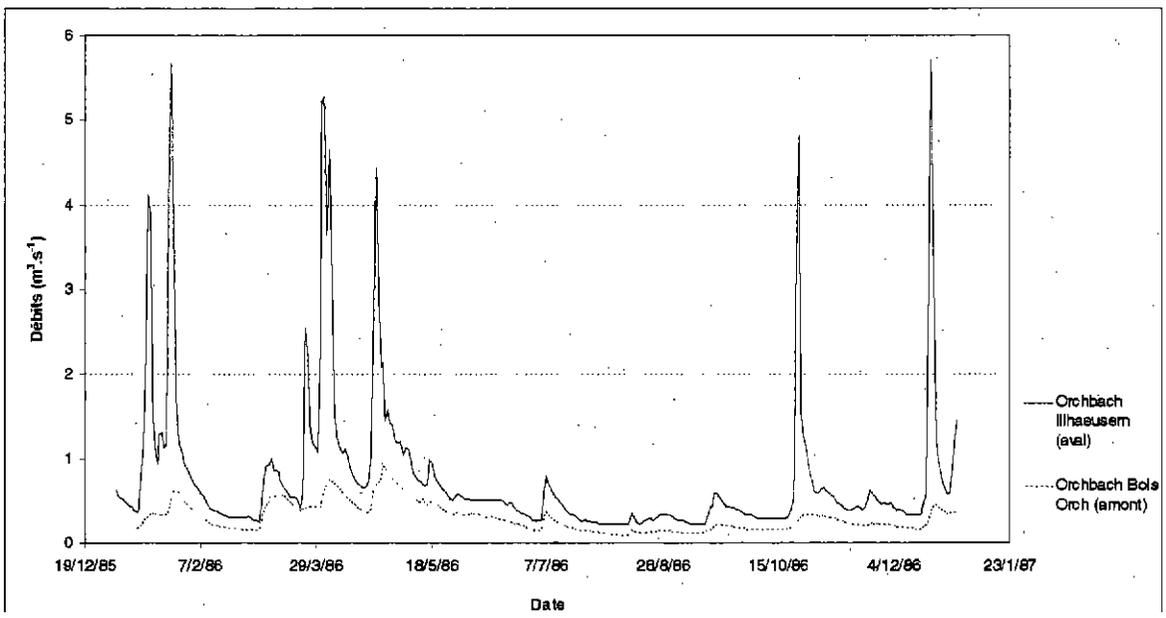
Plus précisément, la figure 22 montre que l'évolution longitudinale des débits de l'Orchbach varie sensiblement au cours d'un cycle hydrologique, même sans que l'on prenne en compte des épisodes de débordement de l'Ill :

- le débit de l'Orchbach augmente de façon relativement régulière pendant toute l'année entre la zone d'émergence de la rivière et le site ORC2. Cette évolution reflète les fluctuations des niveaux piézométriques dans ce secteur ;
- par contre, la situation est nettement plus contrastée plus en aval, entre les sites ORC2 et ORC3, tronçon sur lequel l'Orchbach s'écoule à très faible distance de l'Ill (localement moins d'une centaine de mètres), selon un tracé sub-parallèle à celui de l'Ill. En période de basses eaux marquées, le drainage important de la

nappe par l'III, dont le chenal est plus profond que celui de l'orchbach, explique un rabattement du niveau piézométrique. Il en résulte une atténuation de l'alimentation de l'ûrnbach, voire des pertes de celui-ci, d'où la constance de son débit. A l'opposé, en hautes eaux de l'III (avant les 17/01/86 et 29/04/86 des débordements viennent même de survenir), l'importante recharge de la nappe entraîne une augmentation marquée des débits de l'ûrnbach.

Lorsque le débit de l'ni est encore plus élevé et entraîne des débordements, l'ûrnbach aval évacue directement des eaux ellanes. Ceci explique que le débit de l'ûrnbach à Illhaeusern puisse atteindre des valeurs maximales de plus de $5,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, et que le chenal présente localement des marques d'activité morphodynamique : petites encoches d'érosion, légers sapements de certaines berges concaves...

Figure 21 : Comparaison de l'hydrogamme de l'ûrnbach amont (Bois de l'Orch, zone rarement inondée par l'III, débits estimés par Esteves d'après le piézomètre du Bois de l'ûrnbach) et de l'ûrnbach aval (Illbaeusern, zone fréquemment inondée par l'III) durant l'année 1986 (données : Esteves, 1989).



2.3.1.2.4.3. Conclusion

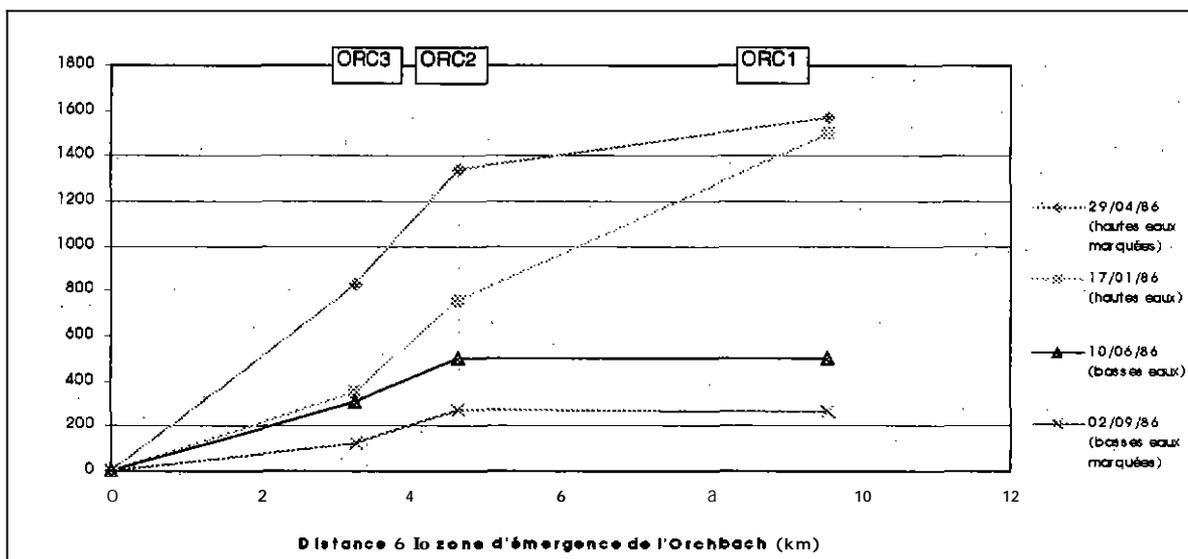
Les développements d'ordre hydrologique ci-dessus peuvent être synthétisés comme suit :

- l'écoulement des défluent et paléo-défluent ello-rhéna peut être :
 - ♦ soit pondéré et généralement faible vis-à-vis des débits à pleins bords des chenaux ; il s'agit alors de défluent à alimentation exclusivement phréatique tendant à s'envaser ;

■ soit relativement excessif avec la formation de pics de crue pouvant désenvaser les chenaux et induire fréquemment une activité morphodynamique. Toutefois, nous montrerons plus bas que la localisation dans le champ d'inondation de l'III d'un défluent déconnecté à l'amont n'est pas une conditions suffisante pour qu'il présente une dynamique modérée. Il faut également pour cela que les modalités de l'écoulement **dans** le chenal et dans le champ d'inondation lors des submersions le permettent (pas de remous d'un barrage dans le chenal ou d'un obstacle **dans** le champ d'inondation. ..) ;

- les apports par des prises d'eau, lorsque le chenal n'évacue pas des eaux de débordement de l'III, sont généralement insuffisants pour induire une morphodynamique des chenaux ;
- comme l'illustrent les profils hydrologiques diachroniques de l'ûrzbach, les modalités de l'écoulement des défluents ello-rhéniens peuvent être intimement liées à des conditions locales qu'il est important de prendre en compte (proximité avec un **cours** d'eau allochtone **en** relation avec le tracé en plan du chenal ;
- de manière générale, les exemples ci-dessus soulignent l'importance du fonctionnement hydrologique pseudenaturel de l'III en aval de Colmar, et en particulier des submersions, vis-à-vis de la dynamique hydro-géomorphologique des défluents ello-rhéniens. Ceci constitue de ce fait un argument supplémentaire pour maintenir le champ de d'inondation de III entre Colmar et Erstein.

Figure 22 : Exemples de profils hydrologiques de l'ûrzbach à différentes phases du cycle hydrologique de l'III (d'ap. Esteves, 1989, modifié).



Les sites **ORC3**, **ORC2** et **ORC1** sont des points de jaugeages

Globalement, le fonctionnement hydro-géomorphologique des cours d'eau de la plaine rhénane est assez mal connu, particulièrement celui des défluent phréatiques et **semi**-phréatiques.

Les cours d'eau des cônes de déjection des Vosges du Sud et moyennes, qui présentent généralement une dynamique de méandres divagants, voire de tresses, n'ont pas été systématiquement étudiés, et, quand cela fut le cas, les études ont été menées sur des linéaires souvent circonscrits et ont répondu à des objectifs opérationnels. Citons par exemple, sans faire la distinction entre les différents cours d'eau, Maire et Wilms (date ?), Buirel et Dontenwill (1956), Maire (1966), Fritsch et al. (1969), Ministère de l'Agriculture et al. (1970), Llauro Duran (1981), Cloots, Maire et Wilms (1982), Esteves (1983), Maire et Cloots (1984), Maire et Wilms (1984), Maire et al. (1985), Maire (1986), Wohlgemuth (1986), Maire et Wilms (1986). **Sur un plan fondamental**, les lits graveleux à méandres divagants et à tresses ont été largement étudiés de par le monde et on peut considérer que leur fonctionnement hydro-géomorphologique est assez bien connu (par exemple Leopold et Wolman, 1957 ; Carson, 1984 ; Ferguson, 1984 ; Best et Bristow, 1993. ..).

Le fonctionnement morphodynamique des rivières allochtones dans la plaine rhénane a été encore plus **mal** étudié, mais il est vrai que ces secteurs posent de moindres problèmes de gestion du fait de leur dynamique moins active. On ne peut guère citer que Pautrat (1990), dont le travail a porté sur la dynamique de l'ill domaniale entre Colmar et Sélestat.

Nous avons vu que l'évolution holocène du réseau de défluent ello-rhéens actuels au anciens n'a été abordée que par de rares auteurs, essentiellement Hirth (1971) et Carbiener (1983a, 1983b). La dynamique géomorphologique actuelle de ces chenaux a été étudiée de façon partielle, localisée ou dans une optique écologique, par Carbiener (1983a, 1983b), Klein et Carbiener (1988), Carbiener et Schnitzler (1990), Cloots-Hirsch (1988), Hames et Schilling (1994) ou Kiliian et Resch (1998). **Sur un plan fondamental**, alors que le fonctionnement hydro-géomorphologique des anastomoses et des anabranes a été rarement abordé jusqu'aux années 1980 (Schumm, 1968 ; Rust, 1978), notamment car ce type de rivières n'était souvent pas clairement reconnu et défini, les hydro-géomorphologues portent actuellement un intérêt croissant à **ces** chenaux (Smith et Smith, 1980 ; Amoros et Petts, 1993 ; Knighton et Nanson, 1993 ; Hanwood et Brown, 1993, Nanson et Knighton, 1996, Bravard et Petit, 1997 ; Smith et al., 1997 ; Tooth et **Nanson**, 1999 ; Tooth et Nanson, 2000 ; Knighton et Nanson, 2000...). La transposition des résultats disponibles est cependant souvent malaisée en raison de la variété des milieux géographiques concernés, (désert australien, Amérique du Sud..). De fait, l'approche la plus utile est la synthèse de Nanson et Knighton (1996) qui propose une typologie d'anabranes naturelles dans des milieux à énergie plus ou moins importante. Une partie de ce schéma pourrait correspondre à certains défluent ellans à forte connexion hydrologique amont (Type 1 de Nanson et Knighton, 1996, et ses sous-types, qui correspondent à des anastomoses). Toutefois, il est clair que la complexité du fonctionnement du réseau hydrographique de la plaine ello-rhéane, par ailleurs anthropisé de longue date (par exemple Syndicat de l'Ischert, 1846), rend hasardeuse et approximative la simple application de ce système typologique général. La synthèse de

Nanson et Knighton (1996) permet toutefois d'identifier les variables les plus discriminantes pour caractériser des anabranches : principalement la puissance spécifique, la granulométrie du fond des chenaux, le rapport largeur/profondeur, le type de charge solide, la sinuosité, la dynamique latérale.

Les paléo-défluent à alimentation phréatique étant extrêmement originaux dans le monde, il est clair que très peu d'études fondamentales portent sur le fonctionnement hydro-géomorphologique de ce type de chenaux. On peut toutefois signaler que Whiting et Stamm (1995) et Whiting et Moog (2001) montrent, mais dans un contexte géologique très différent (formations volcaniques), que les cours d'eau à alimentation phréatique se distinguent des rivières alluviales ordinaires notamment par un régime hydrologique pondéré, une faible dynamique latérale et une quasi-absence de bancs. De leur côté, Jurmu et Andrieu (1997) soulignent que les rivières des zones humides, qu'il est possible d'assimiler aux rivières phréatiques par certains aspects, se distinguent entre autres par la rareté des bancs, un faible rapport largeur/profondeur et l'absence de signification du débit à pleins bords.

A l'échelle régionale, hormis les indications fournies plus haut, le fonctionnement hydrologique des défluent ello-rhénans phréatiques ou semi-phréatiques est globalement aussi mal connu que leur fonctionnement morphodynamique.

En ce qui concerne la détermination du débit à pleins bords et sa signification morphodynamique pour les chenaux de plaine, une difficulté notable réside dans l'absence de relation statistique entre ce débit et une fréquence de crue donnée (1,5 ou 2 ans), comme cela est généralement le cas pour les rivières alluviales ordinaires. En effet, le débit à pleins bords ne se réalise sans doute jamais, ou dans des conditions particulières, pour les rivières phréatiques, alors que pour les rivières semi-phréatiques l'occurrence du débit à pleins bords est dépendante, outre des sections en travers du chenal, du débit de l'III. Dans ces conditions, l'utilisation de la formule de Manning-Strickler pour calculer le débit à pleins bords et la puissance spécifique ne peut donc conduire qu'à des résultats relativement approximatifs. Toutefois, en l'absence de données plus précises, en particulier de crues de différentes fréquences, nous nous voyons contraints d'utiliser cette méthode d'estimation de la puissance spécifique. Il sera bien entendu tenu compte du biais introduit par cette contrainte méthodologique au cours de l'interprétation des résultats.

2.3.1.2.6. CONCLUSION : METHODOLOGIES RETENUES

Cette synthèse de l'évolution post-würmienne du réseau hydrographique de la plaine rhénane et de son fonctionnement hydro-géomorphologique actuel nous permet de définir une méthodologie appropriée pour élaborer une typologie fonctionnelle pertinente des rivières de la plaine ello-rhénane.

Tout d'abord, il apparaît que les faibles variations de pente de la zone d'étude et les difficultés précitées de détermination du débit à pleins bords rendent inadaptée la méthode d'estimation des gradients longitudinaux de la puissance spécifique. Cette approche ne peut donc pas être retenue.

Par ailleurs, la recension bibliographique effectuée montre combien la morphodynamique actuelle des rivières de plaine est étroitement dépendante de leur évolution holocène, de leur fonctionnement hydrologique et de l'anthropisation de l'hydrosystème. Il en résulte une dynamique hydro-géomorphologique très diversifiée de ces chenaux. La combinaison, dont l'expression est variée dans l'espace, des facteurs de contrôle de cette dynamique, devraient logiquement aboutir à une organisation structurée des modalités de ce fonctionnement hydro-géomorphologique. En conséquence, il semble possible de fonder l'élaboration d'une typologie des rivières de la plaine ello-rhénane sur la réalisation de traitements statistiques multivariés (Classification Ascendante Hiérarchique, Analyse des Correspondances Multiples). Le jeu de données sur lequel ces analyses statistiques sont à effectuer devra se rapporter à un ensemble de sites de mesure judicieusement localisés sur le réseau hydrographique concerné, pour lesquels seront estimées des variables hydro-géomorphologiques pertinentes. Ces traitements de données viseront à regrouper, sur des bases « objectives » (ou « naturelles », au sens de Kondolf, 1995), les sites en ensembles distincts les plus homogènes possible. En outre, l'Analyse des Correspondances Multiples devrait permettre de synthétiser l'information contenue dans le tableau de données se rapportant aux sites, sous la forme d'axes factoriels traduisant les principaux descripteurs du fonctionnement hydro-géomorphologique des rivières concernées.

Toutefois, compte tenu de la complexité particulièrement marquée du géosystème fluvial de la plaine ello-rhénane et de l'impossibilité de prendre en compte un nombre trop élevé de sites de mesures (quelques dizaines au maximum pour ne pas renforcer la lourdeur de cette expertise), la mise en œuvre d'une approche qualitative complémentaire nous semble utile. Celle-ci se fondera sur l'observation naturaliste géomorphologique d'un important linéaire de cours d'eau de plusieurs dizaines de kilomètres. Cette approche devrait ainsi permettre de vérifier et de compléter les résultats des traitements statistiques.

L'ensemble des résultats de ces deux approches complémentaires, après avoir été synthétisés, sera finalement confronté avec la typologie de l'Agence (Heidmann et al., 1998) pour expertiser cette dernière.

2.3.1.3. APPROCHE STATISTIQUE

2.3.1.3.1. L'ENSEMBLE DES SITES DE MESURE DE LA PLAINE RHÉNANE

Les traitements statistiques de cette expertise spécifique reposent sur des données collectées sur les 52 sites de mesure concernant la plaine rhénane proprement dite ainsi que les cônes de déjection des Vosges méridionales et moyennes. L'essentiel de ces sites sont localisés dans le grand Ried ello-rhénan, où ils se rapportent surtout au réseau très dense de défluent actuels ou anciens ello-rhénans (Ischert, Zembs, Trulygraben, ... ; 31 sites). En aval de Strasbourg, la plaine rhénane étant nettement plus étroite qu'en amont, seuls 3 sites ont pu être retenus. Ils concernent deux rivières allochtones, la Sauer et la Moder, ainsi qu'un paléolith à alimentation mixte, le Fallgraben. En outre, 16 sites ont été localisés sur des cours d'eau allochtones originaires des Vosges méridionales et moyennes parcourant aussi bien la plaine rhénane que les cônes de déjection érigés à la sortie des vallées vosgiennes (Ill, Doller, Thur..).

Par ailleurs, il nous a semblé opportun d'intégrer deux sites supplémentaires situés dans la tourbière d'origine glaciaire du See d'Urbeis de la vallée de la Thur en raison de certaines similitudes qu'ils présentent a priori avec les rivières de la plaine (faiblesse de la pente, alimentation exclusivement phréatique pour l'un des deux sites). Un de ces sites concerne le Seebach (site Seebach2), alors que le second est localisé **sur** un ancien lit de cette rivière (site Seebach2b).

Tableau 9 : Répartition par cours d'eau et par unités naturelles des 52 sites de mesure.

Unités naturelles		Sites	Nombre
Rivières de plaine, originaires des Vosges méridionales et moyennes		Ill7-10, Doller7-8, Thur5, Fecht5, Giessen6-7, Andlau6-9, Bruche12-13.	16
Rivières de plaine, originaires des Vosges septentrionales		Moder9, Sauer7, Fallgraben (semi-phréatique).	3
Rivières nées dans la macro-plaine alluviale ello-rhénane	Ried Gris	Orchbach1, Schiffwasser1, Bornen1-3, Lutter1-3, Bronnwasser1-3.	11
	Ried Noir	Zembs1-2, Laufgraben1-4, Trullygraben1-3.	9
	Ried Brun	Ischert1-5, Lachter1-3.	8
	Autre	Scheer1-2, Vieil Ergelsenbach1.	3
Autres		Seebach2, Seebach2b.	2
Nombre total de sites :			52

2.3.1.3.2. UNE CLASSIFICATION ASCENDANTE HIERARCHIQUE (CAH) DE TOUS LES SITES RETENUS

2.3.1.3.2.1. Méthodologie

Les variables **prises** en compte pour cette CAH ont été sélectionnées parmi les **25** variables quantitatives à notre disposition en raison de l'importance qu'elles revêtent a priori vis-à-vis de la dynamique hydro-géomorphologique des rivières de la plaine ello-rhénane. Il s'agit des 12 variables présentées dans le tableau 10. L'examen de l'ensemble du jeu de données montre en effet que les 13 variables quantitatives **non** intégrées présentent peu d'intérêt, soit qu'elles sont nettement redondantes avec certaines variables prises en compte (la puissance brute avec la puissance spécifique...), soit qu'elles sont quasi-invariantes pour les 52 sites (altitude...). Par ailleurs, certaines d'entre elles ne peuvent pas être intégrées car elles n'ont pas de signification **pour** les **défluent**s elio-rhénans (superficie du bassin..).

D'autre part, bien que la pente, la puissance spécifique et la vitesse moyenne à pleins bords soient globalement relativement homogènes dans la plaine rhénane par rapport à leur gamme de variation dans l'ensemble de la zone d'étude, il nous a tout de même paru utile d'intégrer ces variables. **En** effet, l'examen des données indique que celles-ci évoluent malgré tout sensiblement depuis les cônes de déjection des **Vosges** méridionales et moyennes jusqu'au **Nord** de la plaine rhénane. Or, compte tenu de leur importance en morphodynamique fluviale, ces variables sont susceptibles d'être discriminantes vis-à-vis de la typologie des rivières de la plaine rhénane.

En définitive, le tableau de données contient 52 lignes et 12 colonnes. **Les** variables ont été **normalisées**, les mesures de distance sont euclidiennes et les distances entre les groupes ont été calculées d'**après** leurs moyennes.

Tableau 10 : Variables quantitatives prises en compte pour l'élaboration de la typologie des rivières de la plaine rhénane et mode d'estimation.

Echelle spatiale	Variable
Fond de vallée	Indice de sinuosité
lit mineur	Pente moyenne de la ligne d'eau
	Vitesse moyenne à pleins bords
	Puissance spécifique
	Rapport largeur/profondeur
	Granulométrie moyenne
	Ccef. de variatⁿ des sédi^s du fond du lit
	% de faciès d'écoulement « lotiques » (faciès de type « seuil »)
	Indice de mobilité Dondéré (I_m), dont nous proposons ci-contre la définition
	% de berges sapées
	% bancs (latéraux et médians)
Indice de mobilité de Pfankuch	

2.3.1.3.2. Résultats et interprétation

Comme le montre la figure 23, cette CAH permet de discriminer 3 groupes de sites essentiellement sur la base de l'intensité de l'activité morphodynamique des chenaux :

○ Un premier groupe, de 25 sites, correspond aux lits à dynamique faible ou nulle (tendance à l'envasement), comme le montre le tableau 11 (faibles valeurs de l'indice de mobilité I_m , de l'indice de mobilité de Pfankuch, du pourcentage d'unités morphodynamiques lotiques...), ainsi que le tableau des valeurs moyennes des variables de chaque groupe. Ce groupe présente effectivement des valeurs élevées pour toutes les variables liées à l'activité morphodynamique des chenaux. Il s'agit, par ordre décroissant d'importance, du pourcentage d'unités morphodynamiques lotiques, du tri des sédiments grossiers (en général, plus le lit est dynamique plus le tri est faible, c'est-à-dire plus le coefficient de variation de la dimension des galets est important), de l'indice de mobilité de Pfankuch, de l'indice de mobilité pondéré, du pourcentage de berges sapées...

Parmi ces 25 sites, 19 correspondent à des rivières drainant exclusivement la nappe (Vieil Ergelsenbach, Lachter, Trulygraben, Laufgraben, Bronnwasser amont) ou alimentées partiellement par des prises d'eau (Ischert, Zembs, Scheer). Certains sites présentent des variations de débit relativement marquées en raison d'une connexion hydrologique amont à des cours d'eau allochtones en période de hautes eaux (Scheer, Fallgraben), ou au cours des débordements de l'Il1 (Zembs, Lutter, Orchbach). A ce stade de l'analyse, ces rivières ne se discriminent pas. En effet, elles ne présentent pas, au niveau des sites de mesure, de signes notables d'activité morphodynamique. Nous verrons plus loin (CAH des défluent et paléo-défluent ello-rhénaux, approche qualitative naturaliste) dans quelle mesure il est possible de préciser le fonctionnement hydro-géomorphologique de ces cours d'eau.

Enfin, ce groupe contient le site Sauer7 dont la dynamique latérale est très faible, bien qu'il s'agisse d'une rivière allochtone. Cela est imputable, d'une part à l'indigence de la pente (**0,2%**), et d'autre part à la disposition du tracé de la Sauer qui, dès son arrivée dans la plaine, emprunte d'anciens lits du Rhin. De ce fait, les sections sont fréquemment surdimensionnées par rapport aux débits actuels de la Sauer, ce qui réduit d'autant les vitesses. Il s'ensuit des phénomènes d'attemssement latéraux et une tendance à la « contraction » du chenal. Par ailleurs, à l'exception du tronçon final de la Sauer en aval de Seltz, la réallocation des chenaux « abandonnés » par le Rhin remonte à plusieurs siècles, voire davantage. De ce fait, le lit ne présente plus de seuils naturels puisque l'énergie et la charge solide (essentiellement sableuse) de la Sauer ne permettent pas leur renouvellement, et que les paléo-seuils naturels d'origine rhénane ne sont aujourd'hui plus visibles. Il en découle, contrairement au site Moder9 (voir infra), des valeurs très faibles du rapport largeur/profondeur (9,4 ; valeur d'autant plus faible que les atterrissements sont importants) et du pourcentage d'unités morphodynamiques lotiques (0%).

② Un second groupe, de 16 sites, discrimine des chenaux à dynamique modérée, comme le montre le tableau **CAH** : indice de mobilité **I**, de l'ordre de 22, indice de mobilité de Pfankuch de l'ordre de 57, rapport largeur/profondeur de l'ordre de 15, puissance spécifique de l'ordre de **4 W.m⁻²**. La matrice des valeurs moyennes des variables des groupes montre que ce groupe présente des valeurs élevées pour les variables liées à une activité morphodynamique modérée : par ordre décroissant d'importance, le pourcentage de berges sapées, le tri des sédiments grossiers, le pourcentage d'unités morphodynamiques lotiques, l'indice de mobilité de Pfankuch. Par contre, il est remarquable de noter que ce groupe affiche des valeurs faibles pour des variables liées à une dynamique très importante des chenaux, comme l'indice de mobilité **I**, ou le pourcentage des rives occupées par des bancs.

Parmi ces sites, 7 concernent des rivières allochtones (ni, Andlau, Giessen, Bruche) provenant des bordures montagneuses jurassiennes et vosgiennes, de la partie méridionale de la plaine d'Alsace, et 7 sont localisés sur des défluent ellans, actuels (Bomen, Schiffwasser) ou anciens (Bronnwasser, Lutter), par lesquels peuvent transiter d'importants pics de crue.

Le site Laufgrabenî, qui concerne une rivière à alimentation strictement phréatique, est probablement rangé dans ce groupe en raison d'un curage relativement important (plus important que sur les trois autres sites du Laufgraben) du lit dans ce secteur. De ce fait, les valeurs de la vitesse moyenne à pleins bords (0,72 m.s⁻¹), de la puissance spécifique (5,7 W.m⁻² ; compte tenu de la méthode d'estimation de ces variables d'après la formule de Manning-Strickler) et de la granulométrie (24mm ; en raison du curage) sont anormalement élevées ; d'où le mauvais classement du site.

De même, ce groupe renferme le site Seebachîb, qui, comme énoncé plus haut, est un petit ruisseau strictement phréatique de la tourbière du See d'Urbeis. Ce site est vraisemblablement classé dans ce groupe en raison de sa pente relativement élevée (3,27 %), et de l'importante valeur du rapport largeur/profondeur (31,8), ceci traduisant la dynamique ancienne de ce lit avant sa déconnexion amont.

○ Le troisième ensemble de cette **CAH** n'apparaît que partiellement sur le dendrogramme de la figure **CAH**. Il comprend tout d'abord une grappe bien individualisée de 6 sites à dynamique importante (III7 et **il18**, Seebach2, Fecht5, Giessen6, Bruchel2). La

matrice des valeurs moyennes des variables de chaque groupe montre que ce groupe se caractérise par des valeurs élevées des variables traduisant à une dynamique latérale très active des lits: par ordre décroissant, le pourcentage des rives occupées par des bancs, l'indice de mobilité, l'indice de mobilité de Pfankuch, le rapport largeur/profondeur...

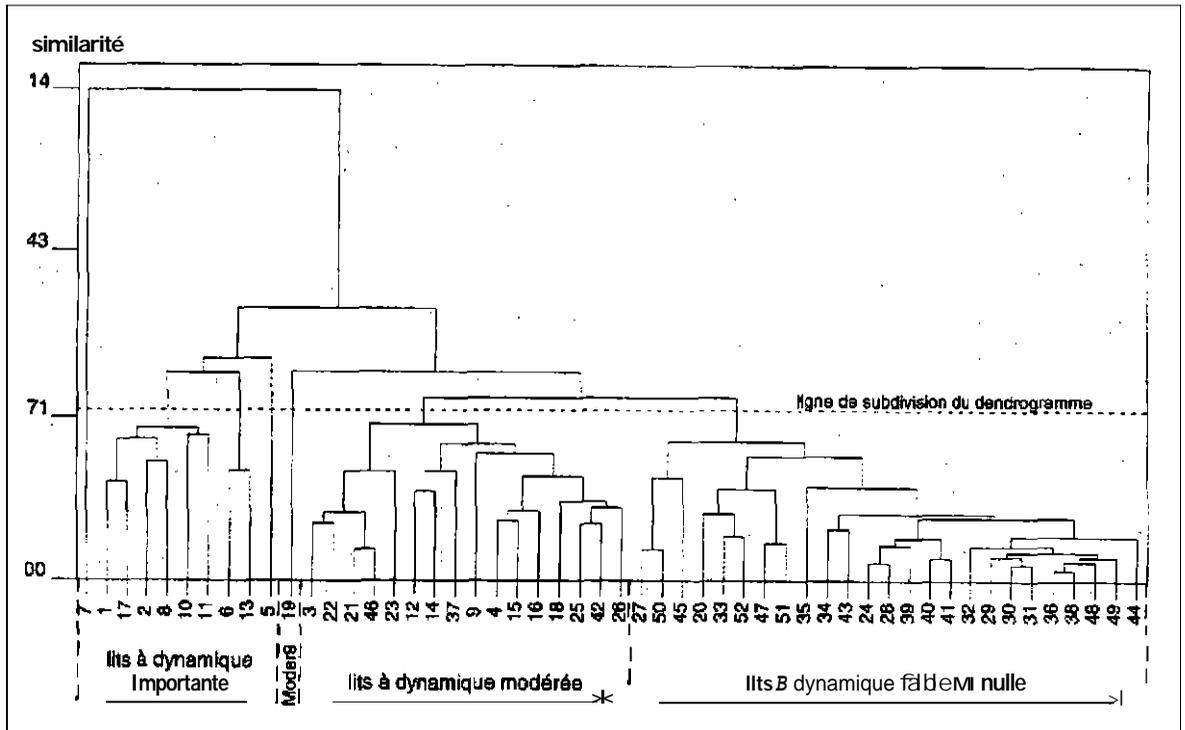
D'après l'organisation du dendrogramme à proximité de cet ensemble et les informations contenues dans la matrice de données, il paraît cohérent de rattacher à ce premier ensemble la grappe Doller8-Andlau6, ainsi que les sites Thur5 et Doller7. En effet, ces derniers présentent des caractéristiques morphodynamiques analogues, voire qui traduisent une mobilité latérale encore plus marquée.

Ce troisième groupe se rapporte donc exclusivement à des rivières allochtones, situées sur les cônes de déjection du piémont des Vosges méridionales et moyennes, et dont la dynamique latérale est importante à très importante : puissance spécifique de l'ordre de 39 W.m^{-2} , rapport largeur/profondeur de l'ordre de 27, indice de mobilité I_m de l'ordre de 80 (tabl. 11).

➤ Enfin, cette CAH singularise le site Moder 9. En effet, bien qu'il ne présente aucun signe de dynamique latérale (indice de mobilité, I_m de 1,3, pourcentage de berges sapées de 0 %... - Tabl. 11), ce site affiche un rapport largeur/profondeur de près de 40 et un pourcentage d'unités morphodynamiques lotiques de 15,8 %. La Moder emprunte effectivement en aval de Drusenheim un ancien lit du Rhin abandonné après une défluviation naturelle du fleuve en 1808⁸, c'est-à-dire il y a moins de deux siècles. De ce fait, la morphologie du lit est encore étroitement liée à l'ancienne dynamique du fleuve dont l'empreinte est encore perceptible, d'autant plus qu'après la défluviation, et jusqu'aux travaux de Correction du Rhin (voire plus tard), d'importants pics de crue pouvaient vraisemblablement encore transiter dans ce chenal : les seuils naturels, disposés assez régulièrement, sont nombreux et, à leur niveau, le rapport largeur/profondeur est élevé.

⁸ indication d'après : Grossherzogliche Badische Rheingranzberichtigung Commission, 1828. Topographische Karte des Rheinstromes und seiner beiderseitigen Ufer von Hueningen bis Lauterburg (Bâle/Lautembourg, 1/20.000).

Figure 23 : Dendrogramme de la CAH des 52 sites de la plaine rhénane.



	Sinuosité	Puiss spé (W.m ⁻²)	Pente (‰)	W/D	Diam moy (mm)	Tri	I _m	Ind. Pfrank	Facès loti (%)	Sapements (%)	Baner (%)	Vit moy (m.s ⁻¹)
1. Dynamiq active	1.22 (0.1)	39.3 (1.1)	4.67 (0.6)	26.9 (0.4)	6 (0.5)	0.5 (0.1)	79.5 (0.3)	13.9 (0.1)	36.7 (0.3)	26.8 (0.6)	44.8 (0.4)	0.57 (0.4)
2. Dynam modérée	1.17 (0.1)	4.0 (0.9)	0.94 (0.8)	14.9 (0.4)	23 (0.3)	0.5 (0.1)	22.11 (0.7)	57.2 (0.2)	28.4 (0.4)	15.4 9	2.3 (1.0)	0.38 0.0
3. Dynamiq faible	1.28 (0.2)	1.8	0.66 (0.3)	9.6 (0.3)	5 (1.6)	0.1 (2.0)	10.3 (3.1)	35.3 (0.1)	0.4 (5.0)	0.5 (3.0)	0.0 (1)	0.31 (0.4)
Moder9	1.70	0.5	0.29	39.9	19	0.4	7.3	35.5	15.8	0.0	1.0	0.16

2.3.1.3.3. UNE ANALYSE DES CORRESPONDANCES MULTIPLES (ACM)

2.3.1.3.3.1. Méthodologie

Le but de cette ACM est double. Il est d'une part de synthétiser l'information contenue dans les variables en dégagant les principales composantes de la matrice de données, et d'autre part de classer les 52 sites afin de confirmer, d'affiner, ou le cas échéant d'infirmer, la classification mise en évidence par la CAH ci-dessus.

Cette ACM se fonde sur les 12 variables quantitatives utilisées dans la CAH, auxquelles ont été ajoutées 6 variables qualitatives : l'unité naturelle d'origine, le mode d'alimentation, le type de régime hydrologique, le style fluvial, la granulométrie dominante

de la charge solide et le type de dynamique naturelle des lits (tabl. 12). La matrice de données contient ainsi 52 lignes et 18 colonnes.

Le tableau 12 présente les modalités de ces variables qualitatives. Pour que l'ACM puisse combiner les données quantitatives et qualitatives, il est nécessaire de discrétiser préalablement les variables quantitatives. Cette opération a été réalisée par classes inter-quartiles. De cette manière, le nombre de modalités des variables quantitatives est toujours de quatre⁹, et le nombre de sites correspondant à chaque modalité est toujours de 10 ou de 11. Ceci permet de ne pas déséquilibrer l'ACM, d'autant plus qu'on a cherché, dans la mesure du possible, à ce que cette distribution soit également respectée pour les variables qualitatives. Le nombre total de modalités est de 66. Bien qu'il soit préférable que le nombre de modalités soit inférieur au nombre de sites, nous conservons le nombre de variables annoncé pour faciliter la comparaison des résultats de l'ACM avec ceux de la CAH précédente.

Variable	Modalités
Principale région naturelle d'origine de la rivière	1. Vosges méridionales et moyennes 2. Vosges septentrionales 3. Plaine alluviale rhénane
Régime hydrologique	1. Régime pluvial océanique 2. Régime nivo-glaciaire « atténué » (rivières phréatiques proches du Rhin)
Mode d'alimentation	1. Ecoulement superficiel de rivière allochtone 2. Alimentation mixte avec évacuation d'eaux superficielles en hautes eaux 3. Alimentation phréatique avec apports artificiels contrôlés par une prise d'eau 4. Alimentation exclusivement phréatique
Style fluvial (adapté d'ap. Rust, 1978)	1. A méandres 2. A tresses 3. Anabranchement ou paléo-anabranchement
Granulométrie dominante de la charge solide	1. Charge solide nulle ou quasi-nulle (tendance à l'envasement) 2. Sables 3. Graviers, galets
Type de dynamique naturelle (adapté d'ap. Downs, 1995)	1. Stable (torrents de montagne ou anabranches elio-rhénanes non envasées) 2. Stable avec tendance à la contraction et/ou à l'envasement du lit 3. Tendance à l'exhaussement du chenal 4. Tendance à l'incision du chenal 5. Tendance aux déplacements latéraux sans modification du profil en travers

2.3.1.3.3.2. Interprétation des axes factoriels

Le pourcentage de variance expliquée par les cinq premiers axes factoriels est respectivement de 24,0, 11,1, 6,5, 6,4 et **6,1** %. On voit que les deux premiers axes (mais le premier nettement davantage que le second) traduisent une proportion relativement importante (**34,1**%) de la variance totale de la matrice de données. En outre, une analyse fine des résultats montre que seuls ces deux premiers axes ont une signification morphodynamique

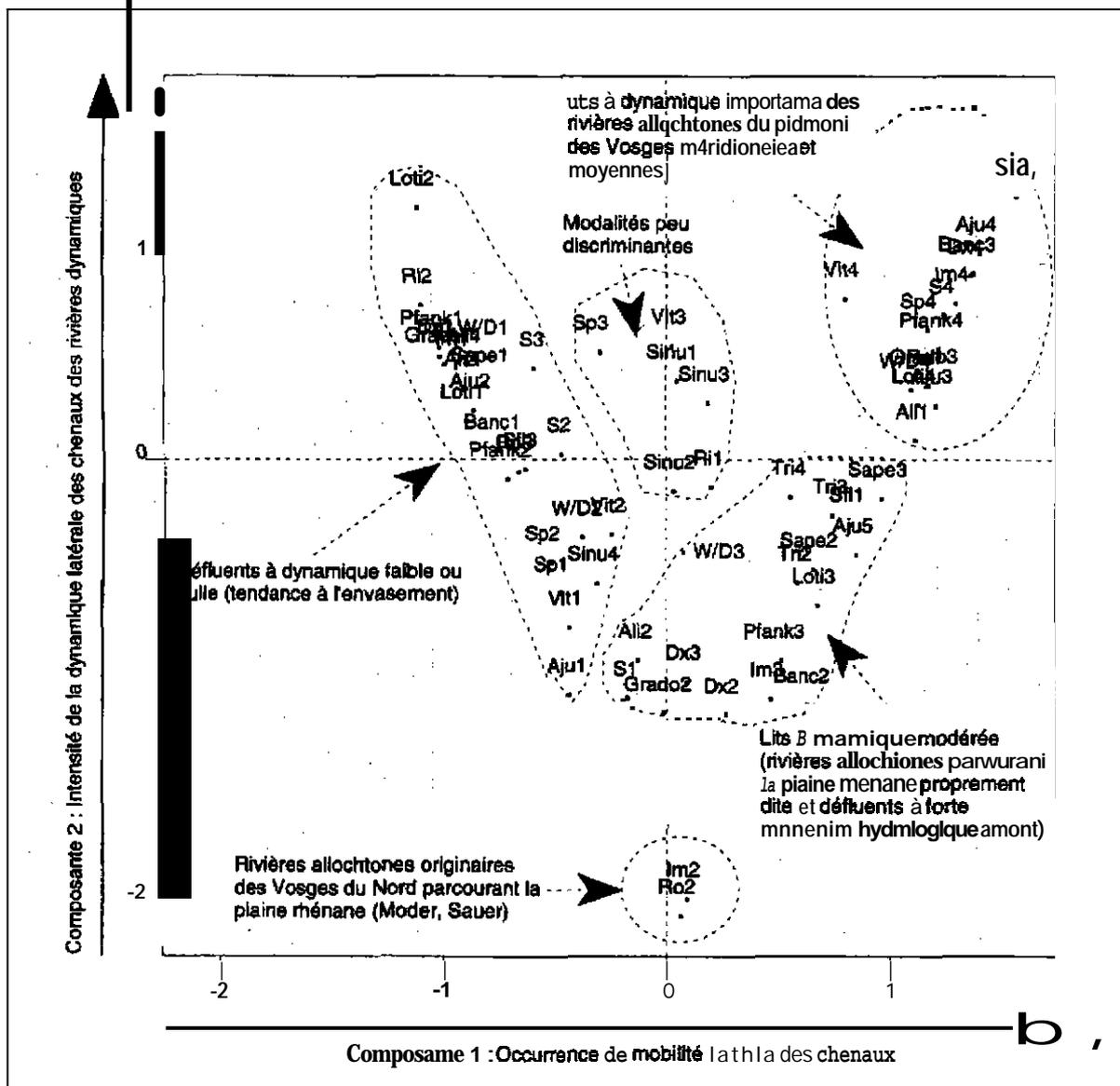
⁹ hormis les variables « pourcentage de berges sapées » et « pourcentage des rives occupées par des bancs », pour lesquelles l'histogramme des fréquences rend plus appropriée une discrétisation en trois modalités.

concrète. Volle (1997) souligne par ailleurs que le calcul du pourcentage de variance expliquée par l'Analyse des Correspondances Multiples tend à « sous-estimer » la quantité d'information apportée par chacun des axes. La variance non expliquée (65,9 %) correspond à la variabilité individuelle des sites qui ne permet pas de regrouper ces derniers.

Le premier axe oppose fortement les modalités des lits à dynamique faible ou nulle, tendant souvent à s'envaser, avec les modalités des lits à dynamique latérale importante de rivières allochtones. Cette composante peut donc s'interpréter comme l'« occurrence de mobilité latérale des chenaux ».

Le second axe confronte quand à lui les modalités des lits à dynamique modérée (défluent alluvial présentant une connexion hydrologique amont et rivières allochtones parcourant la plaine rhénane proprement dite), avec les modalités des lits à dynamique importante de rivières allochtones. De ce fait, il est possible d'interpréter cet axe factoriel comme l'« intensité de la dynamique latérale des chenaux des rivières dynamiques ».

Figure 24 : Classes de **COUS** d'eau apparaissant dans le plan factoriel formé par les deux premières composantes de l'ACM.



2.3.1.3.3.2.2. Typologie résultant des regroupements de sites

L'interprétation de seulement deux composantes factorielles ne permet d'utiliser que le premier plan factoriel F1-F2 (fig. **24**) pour élaborer une typologie de rivières. Cela devrait toutefois être suffisant puisque, les autres axes ne pouvant pas être interprétés, ce premier plan factoriel doit logiquement retranscrire graphiquement l'essentiel de la variance interprétable du jeu de données.

La figure 24 montre que ce plan factoriel permet de distinguer des regroupements de modalités de variables qu'il est aisément possible d'interpréter comme 4 ensembles cohérents de rivières :

Groupe O : les lits à dynamique faible ou nulle, ayant tendance à s'envaser dont l'alimentation est exclusivement phréatique ou est assortie d'apports artificiels par des prises d'eau manœuvrables ; le régime, est généralement de type pluvial océanique ou de type nivoglaciale u atténué » lorsque la rivière draine la nappe « rhénane », aux abords du fleuve ;

Groupe Q : les lits à dynamique modérée, qui sont soit des rivières allochtones parcourant la plaine rhénane proprement dite, soit des défluent ellans à forte connexion hydrologique amont par lesquels peuvent transiter d'importants pics de crue pendant les hautes eaux de l'II (les lits tendent à migrer latéralement sans qu'il y ait de modifications du profil en travers ; la charge solide dominante est fréquemment sableuse) ;

Groupe O : les lits à dynamique importante des rivières allochtones du piémont des Vosges méridionales et moyennes (le style fluvial peut être à tresses ; certains lits peuvent s'inciser ou s'exhausser ; la charge solide est graveleuse) ;

Groupe ④ : les lits des rivières allochtones originaires des Vosges du Nord parcourant la plaine rhénane septentrionale en empruntant des lits, plus ou moins anciens, du **Rhin**.

D'autre part, la figure **24** met en évidence quelques modalités peu discriminantes, c'est-à-dire qui peuvent être représentées dans chacun des ensembles de rivières précités. Il s'agit :

- des trois premières classes de sinuosité (intervalle 1,00-1,30). En effet, la sinuosité n'apparaît pas comme une variable permettant de discriminer les rivières de la plaine rhénane. En outre, certains lits peuvent avoir été rectifiés, souvent de longue date (Laufgraben, Trulygraben amont, Bronnwasser amont...), alors que d'autres peuvent présenter une paléo-sinuosité indépendante des conditions d'écoulement actuelles (Moder, Sauer, Scheer..) ;
- du régime hydrologique de type pluvial océanique. Ce régime concerne presque toutes les rivières de la plaine rhénane, exceptée, dans notre échantillon, deux

rivières phréatiques drainant la nappe « rhénane » : la Lachter et l'Ischert, bien que cette dernière soit également alimentée par une prise d'eau sur un Mühlbach à Artzenheim ;

- de la classe de vitesse $0,12-0,47 \text{ m.s}^{-1}$ (troisième classe inter-quartiles) et de la classe de puissance spécifique $2,49-5,37 \text{ W.m}^{-2}$ (troisième classe inter-quartiles). Ces classes de valeurs peuvent aussi bien concerner des rivières très dynamiques du piémont des Vosges méridionales et moyennes que des défluent à dynamique faible à nulle. En effet, pour ces derniers, les valeurs de vitesse et de puissance spécifique peuvent être élevées car ces lits ont fréquemment été curés, ce qui peut conduire à surestimer la vitesse moyenne à pleins bords (d'après la formule de Manning-Strickler), et donc la puissance spécifique.

2.3.1.3.3. Comparaison avec les résultats de la CAH

Les résultats de cette ACM confirment les résultats de la CAH, tout en l'enrichissant. En effet, les regroupements de sites mis en évidence par l'ACM correspondent quasi-intégralement aux groupes de la CAH qui sont ainsi consolidés. En outre, l'ajout des 6 variables qualitatives additionnelles dans la matrice de l'ACM ne remet pas en cause les regroupements de la CAH; tout au plus cela permet-il d'apporter quelques nuances et précisions.

Effectivement, comme cela a été vu plus haut, la prise en compte de ces variables qualitatives autorise une meilleure interprétation des classes de rivières. Par ailleurs, alors que la CAH isole le site Modes9 sans qu'il soit possible d'en dégager une classe de rivières à part entière, l'ACM permet de définir une classe « Rivières allochtones originaires des Vosges du Nord parcourant la plaine rhénane ». Cette classe, qui comprend les sites Moder9 et Sauer7, correspond bien à la réalité de terrain de la partie septentrionale de la plaine rhénane alsacienne.

Par rapport à la CAH, l'AC34 permet de synthétiser une grande partie de la variance interprétable de la matrice de données sous la forme des deux premières composantes factorielles qu'il a été possible d'interpréter en termes de dynamique fluviale. Ceci fait donc apparaître les principaux descripteurs de la dynamique hydro-géomorphologique des cours d'eau de la plaine rhénane. Le premier est lié à la présence ou à l'absence de dynamique latérale, alors que le second est lié à l'intensité de cette dynamique latérale quand elle existe.

Par ailleurs, l'intégration de variables qualitatives autorise une interprétation plus fine de chaque classe de rivières. Ainsi, il apparaît que les rivières du groupe ① peuvent être exclusivement des émissaires de la nappe, ou peuvent être partiellement alimentées par des prises d'eau amont. On voit donc, à ce stade de l'analyse, que la présence de prises d'eau amont (qui ne permettent pas que des pics de crue puissent transiter dans les rivières concernées) est insuffisante pour générer une dynamique notable de ces chenaux. Enfin, on remarque que le type de régime fluvial ne joue pas de rôle vis-à-vis de la dynamique des lits. Le régime fluvial de type nivo-glaciaire « atténué » ne concerne que certains défluent du groupe O, en l'occurrence les défluent les plus proches du Rhin.

En ce qui concerne les défluent ou paléo-défluent ello-rhénans, il apparaît, avec les deux types de traitement, que ces lits sont classés dans les deux groupes ② et ①. Le groupe O, « lits à dynamique faible ou nulle », ne contient que des défluent, alors que le groupe Q, « lits à dynamique modérée », contient aussi bien des défluent que des rivières allochtones. Il s'avère ainsi pertinent de réaliser une CAH des sites localisés exclusivement sur les défluent ello-rhénans pour tenter de préciser davantage, si cela est possible, la typologie de ces chenaux. Ceci est d'autant plus utile que l'Agence demande un approfondissement particulier sur cette question (par exemple, conséquences des prises d'eau amont vis-à-vis de la morphodynamique des chenaux, importance de l'envasement. ..).

2.3.1.3.4. UNE CAH SPECIFIQUE DES RIVIERES AUTOCHTONES DE LA PLAINE RHENANE (DEFLUENTS ET PALEO-DEFLUENTS DE L'ILLET DU RHIN)

2.3.1.3.4.1. Méthodologie

Cette CAH spécifique concerne les 32 sites relatifs aux cours d'eau dont l'alimentation dépend, en tout ou en partie, des apports de la nappe phréatique et qui sont, sur un plan géomorphologique, des défluent ou des paléo-défluent de rivières allochtones (principalement l'Il et le Rhin). Elle se fonde sur la prise en compte de 6 variables seulement ; en effet, parmi les 12 variables retenues pour la CAH de l'ensemble des sites de la plaine rhénane, ont été retirées la pente, la vitesse moyenne à pleins bords, la puissance spécifique, la sinuosité, ainsi que le pourcentage de berges sapées et le pourcentage de rives occupées par des bancs, ceci en raison même des caractéristiques propres de ces cours d'eau.

La pente, quasiment constante dans le grand Ried central d'Alsace, est peu discriminante. La méthode d'estimation de la vitesse moyenne à pleins bords, et de la puissance spécifique qui en découle, réduit fortement l'intérêt de ces variables pour ces lits. En effet, cette méthode, basée sur des données topométriques (profil en travers, pente moyenne de la ligne d'eau) et la formule de Manning-Strickler, suppose que le débit à pleins bords se réalise dans des conditions naturelles relativement régulièrement (récurrence de l'ordre de 1,5 à 2 ans, bien que la réalité de terrain soit souvent plus complexe, comme l'ont montré Petit & Pauquet, 1997). Ces conditions ne se réalisent évidemment pas pour les rivières strictement phréatiques pour lesquelles la vitesse moyenne à pleins bords et la puissance spécifique qui en découle sont de ce fait nettement surestimées. Si, faute de mieux, cette imprécision fut acceptable pour les traitements statistiques de tous les sites de la plaine rhénane (cônes de déjection compris) en raison de l'importance de la gamme de variation de la vitesse et de la puissance spécifique, cette approximation paraît insatisfaisante pour la mise en œuvre d'une CAH ne concernant que les défluent. Nous n'intégrons donc pas ces deux variables dans la présente CAH. Nous excluons également la sinuosité de la matrice de données puisque l'ACM a montré que cette variable n'est pas discriminante pour les rivières de la plaine rhénane. De même, le « pourcentage de berges sapées » et le « pourcentage des rives occupées par des bancs » ont été retirés en raison de leur forte redondance avec les variables « indice de mobilité pondéré » et « indice de mobilité de Pfankuch ». Ceci doit aussi permettre de simplifier l'interprétation du traitement statistique.

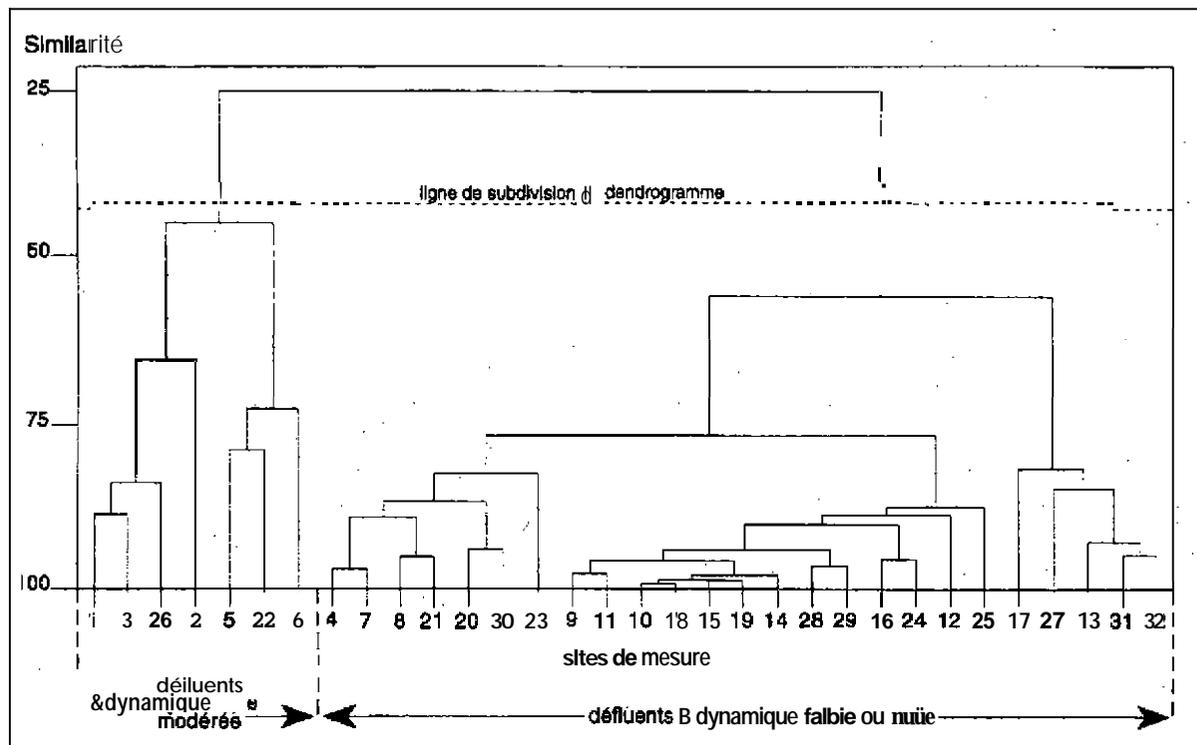
La matrice de données contient ainsi 32 lignes et 6 colonnes. Les variables ont été normalisées, les mesures de distance sont euclidiennes et les distances entre les groupes ont été réalisées d'après leurs moyennes.

2.3.1.3.4.2. Résultats et interprétation

Comme le montre la figure 25, cette CAH distingue deux regroupements qu'il est possible de dénommer, après interprétation, « défluent et paléo-défluent ellans, à dynamique modérée » et « paléo-défluent ello-rhénans, à dynamique faible ou nulle ». Ils contiennent respectivement 7 et 25 sites. Le premier groupe correspond aux défluent contenus dans l'ensemble « lits à dynamique modérée » de l'ACM et de la première CAH, ce dernier contenant également des rivières allochtones. Le second groupe correspond fidèlement à l'ensemble des « lits à dynamique faible ou nulle » de l'ACM et de la première CAH : leur nouvelle dénomination précise leur localisation, leur genèse et leur mode d'alimentation en eau.

La matrice des valeurs moyennes des variables de chaque groupe montre que le premier groupe présente des valeurs élevées pour les 6 variables. Le classement par ordre décroissant d'importance des moyennes de ces variables est le suivant: le pourcentage d'unités morphodynamiques lotiques, l'indice de mobilité de Pfankuch, l'indice de mobilité pondéré, le coefficient de variation des sédiments du fond du lit, le diamètre moyen des sédiments du fond du lit et le rapport largeur/profondeur. On constate que les variables affichant les valeurs les plus élevées pour ces rivières sont le pourcentage d'unités morphodynamiques lotiques et les deux indices de mobilité, ce qui souligne le caractère dynamique de ces chenaux, les trois autres variables étant légèrement moins liées à la dynamique des lits. Ce trait marquant des cours d'eau de ce groupe résulte essentiellement de leur fonctionnement hydrologique. En effet, ils sont alimentés conjointement par la nappe phréatique ello-rhénane et par l'Ill, à laquelle ils sont connectés, sinon en continu (Bomen, Schiffwasser), du moins temporairement pendant les hautes eaux ellanes (Lutter3, Bronnwasser2 et 3). De ce fait, d'importants pics de crue peuvent transiter par ces défluent, d'où une dynamique qu'on peut qualifier de « méandres évolutifs ». Le tableau 13 montre que ces lits présentent de nombreux seuils naturels (près de 35 % de la surface de l'eau en étiage), des indices de mobilité élevés, une granulométrie moyenne (largeur des galets) de l'ordre de 20 mm et un rapport largeur/profondeur relativement élevé supérieur à 15. Par ailleurs, il est intéressant de noter que, si le pourcentage de berges sapées montre une valeur moyennement élevée de l'ordre de 21 %, le pourcentage de rives occupées par des bancs, variable liée à une dynamique très importante des chenaux, n'est que de 2 %. Ceci confirme bien le caractère « modéré » de la dynamique de ces chenaux. Ainsi, dans la plupart des cas, excepté le Bomen, les déplacements latéraux sont très lents et n'ont quasiment pas été perceptibles par l'analyse diachronique de cartes topographiques entre 1885 et 1990.

Figure 25 : Dendrogramme de la CAH des 32 sites **localisés** sur les défluent et paléo-défluent de la plaine rhénane.



La matrice des valeurs moyennes des variables des groupes montre que le second groupe, de « paléo-défluent ello-rhénaux, à dynamique faible ou nulle », affiche des valeurs très faibles avec les 6 variables prises en compte. Cela corrobore le caractère non dynamique de ces chenaux. En effet, ces chenaux drainent en général exclusivement la nappe phréatique ello-rhénaise (Trulygraben, Vieil Ergelsenbach, Laufgraben, Lachter, Bronnwasser amont). De ce fait, l'écoulement se caractérise par de faibles variations hydrologiques, et surtout, de faibles valeurs de m_e ; le débit à pleins bords ne se réalise sans doute jamais pour ces cours d'eau. Certains d'entre eux, à savoir l'Ischert dans notre échantillon, évacuent également en partie des eaux superficielles par l'intermédiaire de prises d'eau manœuvrables. Ces eaux superficielles peuvent provenir du Rhin, comme c'est le cas pour l'Ischert via la Muhlbach de Biesheim (ou « Rhin de Biesheim »). Pour la Blind, rivière non intégrée dans notre échantillon statistique, mais prise en compte pour l'approche qualitative ci-dessous, les apports superficiels d'origine rhénane transitent préalablement par le Canal de Colmar, la rigole de Widensolen et le Canal de Brisach. Les apports superficiels de ce type sont soigneusement contrôlés et limités à des valeurs n'excédant pas quelques centaines de $l.s^{-1}$, ce qui ne permet pas d'induire une quelconque activité morphodynamique de ces chenaux. Bien au contraire, ces derniers présentent fréquemment une forte tendance à l'envasement, qu'ils drainent exclusivement la nappe ou qu'ils écoulent conjointement des eaux superficielles rhénanes.

Par ailleurs, on note dans ce regroupement l'existence de deux sous-groupes dont il est possible de préciser la signification. D'une part le sous-groupe contenant les sites 4, 7, 8, 21, 20, 30 et 23 (respectivement les sites Bronnwasserl, Fallgrabenl, Lutterl et 2, Ischertl, Vieil Ergelsenbachl et Orchbachi), dont la particularité est de présenter un rapport largeur/profondeur relativement élevé (entre 10,5 et 16,3), bien qu'ils soient tous très envasés.

Ce modelé correspond vraisemblablement aux anciennes conditions morphodynamiques de ces chenaux. D'autre part, le sous-groupe des sites 17, 27, 13, 31 et 32 (respectivement Laufgraben2, Trulygraben1, Lachter1, Zembs1, Zembs2) s'individualise car il contient des sites **non** envasés. **En** effet, ces sites présentent localement un lit graveleux en raison d'interventions humaines comme des curages (Laufgraben2, Trulygraben1, Lachter1), ou parce qu'ils présentent une rhéologie suffisante pour empêcher la formation de vase (Zembs1 et 2). **Dans** ce dernier cas, il n'a toutefois pas été possible de relever de trace d'une activité morphodynamique plus intense.

Enfin, il est à **noter** que certains sites de ce groupe, bien qu'ils ne soient pas dynamiques sur les linéaires fluviaux concernés par les sites, affichent un fonctionnement hydrologique mixte « contrastés, avec possibilité de transfert d'importants pics de m e . Il s'agit des sites Lutter 1 et 2, Fallgraben1, Zembs1 et 2 et du site Orchbach1 (respectivement numérotés 20, 21, 7, 31, 32 et 23). Les sites Lutter1 et 2, qui font partie de la zone inondable de l'ni, montrent, même quand est réalisé le débit à pleins bords, des vitesses insuffisantes pour empêcher le dépôt de vases (observation faite au cours d'une inondation de l'111 en novembre 1998). Le même constat peut être fait pour le Fallgraben, dont les apports d'eaux superficielles en provenance de l'extrémité Sud des formations pliocènes de la Forêt de Haguenau sont trop indigents pour juguler le phénomène d'attemssement. **Dans** le cas de la Zembs, nous avons évoqué plus haut que l'écoulement de crue de ce cours d'eau était à même d'empêcher l'accumulation de vase, sans pour autant que le lit présente, au niveau des deux sites, des signes de dynamique. Si, en basses eaux, l'écoulement de cette rivière provient exclusivement du drainage de la nappe (la Zembs prolonge vers l'**amont** le Fnesengraben au lieu-dit « Ohmetloch »), lors des inondations de l'**III**, la Zembs évacue des eaux ellanes. Cette connexion hydrologique se réalise en aval du lieu-dit « Ohmetloch » où une diguette assez mai entretenue limite imparfaitement l'extension orientale du champ d'inondation de l'**III** (**M. Ott, DDAF Bas-Rhin**, Service de l'ni, communication orale ; observations personnelles). De même, l'Orchbach, en aval du lieu-dit « Maison Rouge », (tronçon contenant le site Orchbach1), n'affiche pas de traces de dynamique, alors que le **couis** d'eau montre dans ce secteur d'importants pics de crue d'origine ellane (Esteves, 1989 ; voir infra). Le paragraphe 2.3.1.4., consacré à l'approche qualitative naturaliste, devrait permettre d'approfondir la question du classement de ces 6 sites.

	SinoonitA	W/D	Diam moy (mm)	Tti	1	hd, Pfank	Facies loti (%)	Sipamem (%)	Bancs (%)
1. Dynam modérée	1.21	15,1	21	0.8	25.5	62.6	34.5	21.1	2.4
	(0,11)	(0,24)	(0,41)	10,1	(0,74)	(0,19)	(0,27)	(0,75)	COSS?
Z Dynamia faible	1.26	9,4	5	0.1	0.2	35.2	0.4	0.4	0
	(0,17)	(0,31)	11,66	(2,05)	(3,73)	(0,11)	(5,0)	(3,75)	

2.3.1.3.5.1. Méthodologie

Nous avons vu que le groupe Q, déduit de l'ACM, concernait aussi bien des défluent allo-rhénans que des rivières allochtones. De fait, les rivières allochtones de la plaine rhénane peuvent a priori avoir trois types de dynamique :

- une dynamique importante de lits à tresses et/ou à méandres divagants ;
- une dynamique modérée de méandres évolutifs ;
- une dynamique **très** faible de rivières allochtones empruntant d'anciens lits du Rhin.

Nous avons cherché à confirmer statistiquement ces regroupements par une CAH des 19 sites localisés sur les rivières allochtones de la plaine rhénane. Cette CAH est similaire à la première **CAH** que nous avons réalisée, hormis que nous n'avons retenu que 7 variables quantitatives, au lieu des 12 variables quantitatives prises en compte pour la première CAH. Les 5 variables non prises en compte sont :

- la vitesse, qui est très redondante avec la puissance spécifique et la pente ;
- la sinuosité, qui est peu discriminante pour ces rivières ;
- le tri des sédiments du fond du lit, qui est également peu discriminante ;
- le pourcentage de berges sapées, dont l'interprétation s'avère délicate car cette variable discrimine mal les lits à dynamique modérée des lits à dynamique importante ;
- le rapport largeur/profondeur, qui est ici mal adapté notamment en raison de son importante valeur pour le site Moder9, alors que la dynamique de cette rivière soit très faible.

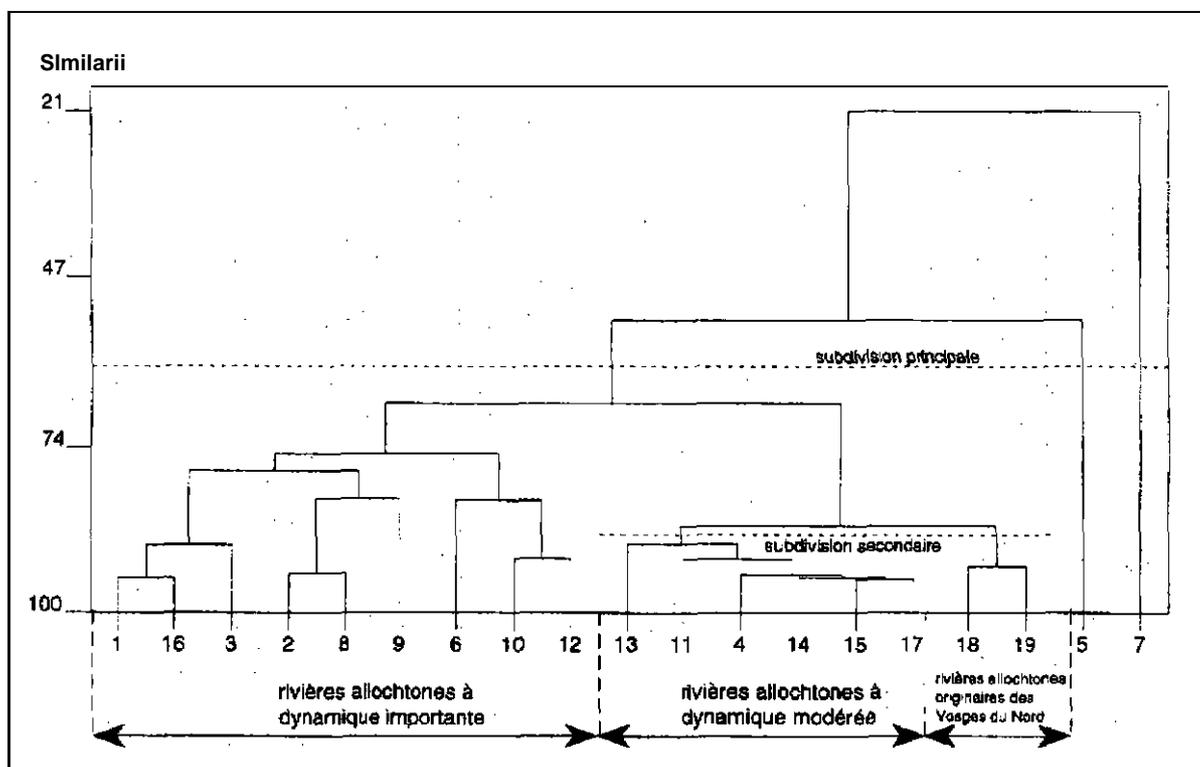
Ainsi, les 7 variables prises en compte sont la puissance spécifique, la pente, la granulométrie du fond du lit, l'indice de mobilité pondéré, l'indice de mobilité de Pfanhch, le pourcentage d'unités morphodynamiques lotiques et le pourcentage de berges occupées par des bancs.

2.3.1.3.5.2. Résultats et interprétation

Comme le montre la figure 26, les résultats de cette CAH valident les regroupements a priori avancés ci-dessus des rivières allochtones parcourant la plaine rhénane. On peut cependant remarquer que les sites 5 et 7 (respectivement Doller7 et Thur3 ne sont pas classés dans l'un des groupes en raison de leurs valeurs particulièrement élevées de pente et de granulométrie. D'autre part, le groupe « rivières allochtones originaires des Vosges du Nord » ne se distingue du groupe « rivières allochtones à dynamique modérée » qu'à un niveau secondaire de subdivision. Cela résulte notamment du fait que les sites Moder9 et Sauer7 présentent des valeurs de granulométrie voisines de celles des « rivières allochtones à dynamique modérée », bien que les formes sur lesquelles ces mesures aient été réalisées ne soient pas des seuils naturels mobiles, compte tenu des conditions actuelles d'écoulement. Il en résulte en outre une surestimation du pourcentage d'unités morphodynamiques lotiques du

site Modéfi (cf. supra). En outre, l'interprétation des résultats révèle que le site Il19 (N°3 de la figure 26) est classé dans le groupe « Rivières allochtones à dynamique importante » alors qu'il était classé dans la première CAH dans les lits à dynamique modérée (N°3 de la figure 23) ; comme ce site présente par ailleurs des s a p e n t s relativement **peu** actifs et très peu de bancs (8 %), **nous** le rattacherons par la suite aux « Rivières allochtones à dynamique modérée ». A l'inverse, nous rattacherons le site Bruche13 (N°17 de la figure 26) aux « Rivières allochtones à dynamique importante » alors que ce site a été classé par cette CAH dans le groupe des « Rivières allochtones à dynamique modérée ». En effet, dans le passé, avant la réalisation d'un certain nombre d'aménagements ponctuels dans cette zone, le lit de la Bruche dans les environs de ce site était plus dynamique qu'aujourd'hui (Maire, 1966 ; d'où un indice de mobilité par étude diachronique de cartes relativement élevé de 3). Cependant, il convient de reconnaître que même avant ces aménagements, le lit de la Bruche à la hauteur du site Bruche13 était légèrement moins actif qu'à la hauteur du site Bruchel2, notamment car la Bruche entaille dans ce secteur la tmasse d'&Stein (surimposihon).

Figure 26 : Dendrogramme de la CAH des 19 sites localisés sur les rivières allochtones de la plaine rhénane.



2.3.1.3.6. CONCLUSION DE L'APPROCHE STATISTIQUE

Les traitements statistiques effectués permettent de dégager cinq types hydro-géomorphologiques de rivières de la plaine rhénane :

- O les cours d'eau allochtones du piémont des Vosges méridionales et moyennes, à dynamique latérale importante (méandres divagants, tressage ; Sites : Ill7-9, Doller7-8, Seebach2, Thur5, Fecht.5, Giessen6, Andlau6, Bmche12-13) ;
- O les cours d'eau allochtones de la zone médiane, à dynamique modérée (Sites : Ill10, Giessen7, Andlau7-9) ;
- O les cours d'eau allochtones de la plaine rhénane septentrionale, à dynamique faible, parcourant des paléo-chenaux rhénans (Sites : Modes, Saueri) ;
- ④ les défluent et paléo-défluent ellans, à dynamique modérée (Sites : Bomen1-3, BronnwasserZ-3, Luiter3, Schiffwasser1) ;
- ⑤ les paléo-défluent ello-rhénans¹⁰, à dynamique faible ou nulle (Sites : SeebachZb, Bronnwasser1, Fallgraben1, Ischertl-5, Lachterl-3, Laufgrabenl-4, Lutterl-2, Orchbachl, Scheerl-2, Trulygrabenl-3, Vieil Ergelsenbachl, Zembsl-2).

Sans revenir sur la description de chacun de ces types, l'ensemble des résultats obtenus permet de formuler les remarques suivantes :

➤ Les paléo-défluent à dynamique faible ou nulle du **type O** tendent tous à s'envaser plus ou moins rapidement, donc à se contracter par atterrissement. **Pour** autant, l'alimentation hydrologique de ces chenaux est variée. L'écoulement peut être exclusivement d'origine phréatique, mais il peut aussi être assorti d'apports relativement constants par des prises d'eau, ou peut présenter des pointes de crue. Dans ce cas, les vitesses sont insuffisantes pour empêcher l'envasement. De telles conditions sont liées à l'implantation de seuils artificiels, de barrages, ou aux modalités d'écoulement dans le lit majeur au cours des débordements. De ce fait, on voit que la simple localisation d'un défluent dans le champ d'inondation de l'Ill n'est pas une condition suffisante pour que celui-ci soit dynamique.

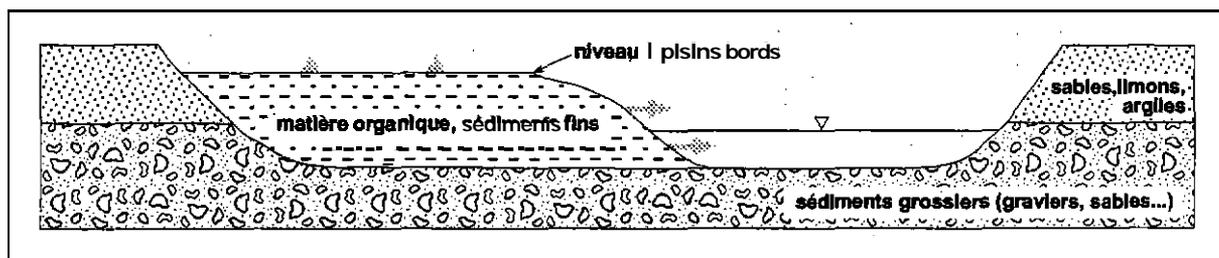
➤ **Au** contraire, les défluent à dynamique modérée du **type ④** montrent en hautes eaux des conditions hydrodynamiques (notamment les vitesses) aptes à empêcher l'envasement des chenaux et à induire une morphodynamique modérée. En basses eaux, la connexion hydrologique amont de ces lits à l'Ill peut être pérenne (par exemple le Bomen via le Ruisseau du Fischerschluth, du Hambach..., Le Schiffwasser via le Bennwasser). Dans certains cas, la connexion hydrologique amont n'est pas assurée en basses eaux : au cours de cette phase hydrologique ces lits sont alors de simples drains de la nappe (la Lutter, grossièrement la moitié aval du Bronnwasser, l'Ûrchbach en aval de <<Maison Rouge n).

¹⁰ Nous dénommons ce type « paléo-défluent ello-rhénans... » car la plupart des chenaux appartenant à ce type sont des anciens défluent de l'Ill et du Rhin. Toutefois, certains d'entre eux peuvent, le cas échéant, être des défluent d'autres cours d'eau allochtones.

➤ Tous les lits des rivières allochtones originaires des Vosges méridionales et moyennes parcourant la plaine rhénane stricto sensu (**type@**) sont mobiles dans des conditions naturelles. Toutefois, leur dynamique, de type « méandres évolutifs », reste relativement modeste.

➤ La dynamique de contraction des chenaux, schématisée dans la figure 27, caractérise aussi bien les lits du **type O** que ceux du **type O**. Selon les cas, différents stades de réadaptation des chenaux peuvent être observés. Par exemple, le lit de la Moder à hauteur du site Mode8 n'a fait qu'entamer sa phase de contraction. Par contre, le réajustement morphodynamique du site Sauer7 a quasiment atteint un nouveau stade d'équilibre, adapté aux conditions d'écoulement actuelles. Le même type d'évolution peut fréquemment être observé **sur** les défluent du **Ried** central d'Alsace, comme sur le Fnesengraben, la Zembs, le Trullygraben, le Laufgraben, l'Orchbach... **Nous** avons vu que pour des lits comme celui de la Zembs, les conditions hydrodynamiques actuelles empêchent la formation de dépôts importants de vase. Le réajustement de la section du chenal semble donc avoir atteint un nouveau stade d'équilibre. Par contre, les chenaux du **type O**, dont les vitesses sont insuffisantes pour juguler l'atterrissement, s'ensavent et tendent à se colmater. De ce fait, le drainage souterrain est freiné, ce qui réduit les débits et, par une boucle de rétroaction positive, accentue d'autant plus l'ensablement. Dans de telles conditions, des interventions de type « curagedoux » peuvent s'avérer occasionnellement nécessaires.

Figure 27 : Profil en travers « schématique » de lits en cours de contraction par accumulation latérale de matière organique et de sédiments fins sur la(les) berge(s).



2.3.1.4. APPROCHE QUALITATIVE : RECONNAISSANCE GEOMORPHOLOGIQUE DES RIVIERES DE LA PLAINE REENANE

2.3.1.4.1. NECESSITE D'UNE APPROCHE QUALITATIVE

Les résultats des traitements statistiques pour l'ensemble du bassin français du Rhin supérieur (les 187 sites) sont précisés par ceux de la spatialisation de la puissance spécifique, ou par l'étude détaillée des profils en longs des comdors fluviaux: localisation et caractérisation des transitions entre les types, consolidation de la typologie par une approche complémentaire pertinente et novatrice (Bemot et al., 1996 ; Lecce, 1997 ; Bernot et Creuzé des Chatelliers, 1998 ; Astrade et Bravard, 1999 ; Knighton, 1999). Dans la plaine rhénane, le même type de confrontation est également nécessaire car les traitements statistiques ci-dessus reposent exclusivement **sur** les 52 sites de la plaine rhénane. Il paraît en effet important de contrôler que les cours d'eau les plus importants qui n'ont pas pu être intégrés dans

l'échantillon statistique (Blind, Lauch,..) et les linéaires compris entre les sites se retrouvent pertinemment dans le modèle typologique proposé. En outre, il convient de préciser si les paléo-défluent présentant une dynamique faible ou nulle au niveau de leur site, mais dont le fonctionnement hydrologique est tout de même contrasté (Zembs. ûrchbach..), sont bien à classer dans le **type ⑤ « paléo-défluent ello-rhénans, à dynamique faible ou nulle »**, ou si une reconnaissance sur des linéaires plus vastes de ces rivières ne permettrait pas de leur attribuer le **type ④ « défluent et paléo-défluent ellans, # dynamique modérée »**.

Toutefois, dans la plaine rhénane, des rapprochements entre des résultats statistiques et l'évolution longitudinale de la puissance spécifique sont irréalisables. En effet, la méthode de spatialisation de la puissance spécifique est globalement peu pertinente dans des milieux à faibles variations de pente (Lecce, 1997 ; Knighton, 1999). D'autre part, compte tenu de son mode d'estimation, la puissance spécifique n'est pas discriminante pour les défluent ello-rhénans (cf. supra). En conséquence, **nous** aurons recours à une reconnaissance géomorphologique de terrain des rivières de la plaine rhénane pour consolider et préciser la typologie élaborée à partir des traitements statistiques.

2.3.1.4.2 METHODOLOGIE

2.3.1.4.2.1. Les rivières inspectées

L'inspection des rivières a été réalisée au cours de l'automne 2000 (septembre-octobre), période particulièrement propice au travail de terrain en raison de la faiblesse des débits. Comme le montre le tableau 14, cette reconnaissance porte sur un linéaire hydrographique de près de **45 km** de long. L'inspection de terrain a été généralement menée à pieds, mais on a eu recours à une barque à moteur pour les cours d'eau particulièrement larges et profonds (Sauer, Zorn...) ou pour lesquels une inspection très minutieuse du fond du lit paraissait indispensable (Blind, Zembs..).

Tableau 14 : Rivières de la plaine rhénane inspectées qualitativement au cours de l'automne 2000.

Rivière	Localisation	Longueur (km)
Vieille Thur (Canal des Douze Moulins)	Réguisheim, Munwiller, F'affenheim ...	3
Lauch	aval Memheim	3
Rimbach	Raetersheim	1
Brücklebach	aval Ungersheim	0,5
Scheidgraben, M a c h , Waibach, Lonbach	Raetersheim-Rouffach	5
Orchbach	aval Maison Rouge (Osthei,?)	1
Réseau hydrographique de la Forêt Communale de col nia^	Ostheim	1
Schiff&ben	amont Muttersholtz	0,2
Bruchgraben, Hanfgraben	amont Ehnwihr	1
Blind	Wiiu-en-plaine - Ehnwihr	4+1 (bateau amont Ehnwihr)
Landweggraben	aval Muttersholtz	2
Rés. hydro. au S-E d'Ebersmunster (Muehlbach, Schwarzlarch...)	S-EEbersmunster	1
Kesslergraben, Hoehiachgraben, Friesengraben	aval Muttersholtz	4
Zembs	amont Rossfeld - aval Herbsheim	2+2 (bateau <small>EVB</small> Herbsheim)
Ruisseau de la Weil	Obenheim	0,15
Lutter	Huttenheim	1
Hanfgraben	Sand	1
Lachter	aval de Gerstheim	2 (bateau)
Rhin Tom	aval de la rue des Cosaques (Eschau)	2 (bateau)
Zorn	amont Herrlisheim	2 (bateau)
Eberbach	Leutenheim	2 (bateau)
Sauer	aval Beinheim	1 (bateau ; problèmes dembacies)
Total:		443 km

2.3.1.4.2.2. Les principales variables prises en compte

Les variables ou facteurs de la dynamique fluviale des rivières de la plaine rhénane pris en compte pour cette expertise qualitative sont les suivants :

- la pente, dans la mesure où celle-ci évolue sensiblement du Sud au Nord de la plaine rhénane (cartes topographiques) ;
- le fonctionnement hydrologique (mode d'alimentation), ce qui concerne essentiellement les défluent ello-rhéna (terrain) ;
- les héritages géomorphologiques, c'est-à-dire l'influence de l'évolution holocène des chenaux sur leur dynamique actuelle (cartes, terrain) ;
- les caractéristiques sédimentologiques du fond des lits (granulométrie, charge solide dominante, unités morphodynamiques...), qui résultent pour l'essentiel des

capacités de transport du chenal, des apports du bassin versant et, surtout, des reprises de la plaine alluviale (terrain) ;

➤ la morphodynamique actuelle des chenaux, qui résulte de l'interaction des divers facteurs hydro-géomorphologiques précités (terrain).

2.3.1.4.3.RESULTATS

Les résultats de cette reconnaissance qualitative de terrain sont résumés et interprétés dans le tableau 15. Ce travail nous a permis de classer tous les cours d'eau inspectés dans l'une des classes définies à l'aide des traitements statistiques et, notamment, de revoir le classement de certaines rivières dont le classement à partir des seuls traitements statistiques paraissait incertain ou discutable (Zembs, Orchbach, Scheer).

Tableau 15 : Présentation synthétique des résultats de la reconnaissance qualitative de terrain au cours de l'automne 2000.

Rivière	Principales caractéristiques hydro-géomorphologiques	Typologic
Vieille Thur (Canal des Douze Moulins)	Pics de crue, charge limono-sableuse, pas de séq. seuils-mouilles nettes car peu de gravier, sapements, bancs de convexité.	Type @
Lauch	Charge sablo-graveleuse, séq. seuils-mouilles, sapements et bancs fréquents.	Type ②
Rimbach Scheidgmben, Durbach, Lonbach. Dorfbach, Brücklebach, Waidbach	Pics de crue, charge sablo-graveleuse; séq. seuils-mouilles, sapements et bancs fréquents, morphodynamique active ayant conduit localement à un réajustement géomorphologique (sans doute après un curage important) : début de formation d'une néo-plaine alluviale encaissée.	Type ②
Orchbach	Pics de crue importants, charge solide faible, gravier très peu (voire pas) mobilisé, pas de séq. seuils-mouilles, vase fréquente, petites anses d'érosion et petits sapements, contraction ancienne du lit.	Type ④
Réseau hydrographique de la Forêt Communale de Colmar	Alimentation 100% phréatique en basses eaux, chenaux localisés dans le champ d'inondation de l'III mais vitesses insuffisantes pour évacuer la vase et induire une morphodynamique, débits très faibles en basses eaux, voire nuls dans certains chenaux. transports sédimentaires nuls, pas de séq. seuils-mouilles, vase abondante.	Type ⑥
Schiffgraben	Alimentation 100% phréatique, débit très faible, pas de transports sédimentaires, pas de séq. seuils-mouilles, bp de vase.	Type@
Bruchgraben, Hanfgraben (Ehmvihr)	Alimentation 100% phréatique, transports sédimentaires nuls, pas de séq. seuils-mouilles, vase fréquente.	T ⑤
Blind amont Illwald	Alimentation artificielle (Canal de Colmar, Rigole de Widensolen), drainage phréatique, pas de pics de crue, pas de séq. seuils-mouilles, vase fréquente.	Type@
Blind aval Illwald	Alimentation artificielle (Canal de Colmar, Rigole de Widensolen), drainage phréatique probable, pics de crue au cours des débordements de III à hauteur de l'Illwald, charge solide sablo-graveleuse, pas de séq. seuils-mouilles car peu de gravier, sapements peu actifs fréquents (40% des berges), pas de bancs.	Type ④

(suite)

Rivière	Principales caractéristiques hydro-géomorphologiques	Typologie
Landweggraben	Alimentation 100% phréatique, pas de transports sédimentaires, pas de séq. seuils-mouilles, pas de morphodynamique, bp de vase,	Type @
Rés. hydro. au S-I d'Ebersmunster (MueWbach Schwarzlarch. . .) Kesslergraben, Hoehiachgraben, Friesenpben Zembs	Débits de crue et d'étiage importants, charge sablo-graveleuse, peu de vase, petits sapements, pas de séq. seuils-mouilles observées.	Type ④
Ruisseau de la Weil	Alimentation 100% phréatique, débits pouvant être relativement élevés uu le lit jouxte une digue d' inondation de l'III, charge sédimentaire nulle, pas de séq. seuils-mouilles, bp de vase, contraction ancienne du lit. Pics de crue, charge sableuse faible, pas de séq. seuils-mouilles car pas de mobilisation de gravier, <seuils figés > rares (5.5% du lit), contraction ancienne du lit, vase fréquente SUT les bords mais rare au fond du chenal, sapements très modérés assez étendus (31% des berges, surtout en rive droite car elle est plus haute que la rive gauche).	Type ⑤
Hanfgraben (Sand)	Alimentation par une prise d'eau sur la Zembs, pics de crue modérés, débit assez important en basses eaux, charge sédimentaire très faible essentiellement sableuse, pas de séq. seuils-mouilles. sauements très rares. morphodynamique très faible.	Type @
Lutter (Bois de la Lutter et en amont du Bois de la Lutter)	Alimentation 100% phréatique dans le champ l'III mais les vitesses sont insuffisantes pour évacuer la vase et induire une morphodynamique car la confluence avec l'III est située dans une zone de remous d'un barrage de l'III, transports sédimentaires nuls, pas de séq. seuils-mouilles, vase fréquente.	Type ⑤
Lachter (mal de Gerstheim)	Pics de crue, charge solide très faible, gravier très peu (voire pas) mobilisé, assez grande hétérogénéité des largeurs et des profondeurs, pas de séq. seuils-mouilles, seuils «figés» rares, berges très basses, morphodynamique faible, vase très fréquente.	Type ⑤
Rhin Torn	Alimentation phréatique et mixte par le Rau de la Weil (donc de la Zembs), pas de pics de crue (ou très faibles), charge sédimentaire faible, pas de séq. seuils-mouilles, vase fréquente, pas de morphodynamique.	Type ⑤
Zorn	Alimentation artificielle, pas de pics de crue, drainage phréatique probable, charge sédimentaire faible sans doute sablo-graveleuse, pas de séq. seuils-mouilles, peu de vase, qq traces d'atterrissements.	Type ⑤
Eberbach	Lit rectifié, charge sableuse, seuils naturels peu marqués, dynamique très faible.	Type ③
Sauer	Paléo-chenal d'un bras du Rhin, pas de séq. seuils-mouilles, charge sableuse, dynamique très faible.	Type ③
	Idem.	Type ③

2.3.1.4.4. DISCUSSION ET REMARQUES

* Type ① : Cours d'eau allochtones du piémont des Vosges méridionales et moyennes, à dynamique latérale importante

Comme ce type de rivières ne posait pas de difficultés d'interprétation particulières au cours des traitements statistiques, la reconnaissance de terrain n'a pas porté sur ces cours d'eau.

➤ Type ② : Cours d'eau allochtones de la zone médiane, à dynamique modérée

Dans l'ensemble, la reconnaissance de terrain n'a pas concerné ce type de rivières car il ne présentait pas non plus de difficultés d'interprétation notables au cours des traitements

statistiques. La transition entre les rivières du type 1 et celles du type 2, généralement assez nette, se situe au niveau de la rupture de pente du profil en long au contact entre les cônes de déjection et la plaine rhénane proprement dite. Par contre, cette transition paraît nettement plus progressive pour l'III (entre les sites 1118 et 1119). En outre, il est difficile de caractériser cette transition en raison de l'ancienne rectification de l'III sur la plus grande partie de son cours entre Mulhouse et Colmar. En effet, les cartes anciennes les plus précises (échelles 1/25.000^e, 1/50.000^e, voire 1/100.000^e) ont été réalisées postérieurement à l'aménagement de l'III dans ce secteur.

➤ **Type O : Cours d'eau allochtones de la plaine rhénane septentrionale, à dynamique faible, parcourant des paléo-chenaux rhénans**

Les deux sites Moder⁹ et Sauer⁷ correspondent bien à ce type dans lequel on a également intégré les rivières **Zorn**, Eberbach. Par ailleurs, une reconnaissance de terrain antérieure (été 1999) nous permet également de classer dans ce type l'III en aval d'Eschau car, comme nous l'avons évoqué plus haut, l'III emprunte selon toute vraisemblance dans ce secteur un paléo-lit du Rhin ou d'un important défluent rhénan.

➤ **Type ④ : Défluents et paléo-défluents ellans, à dynamique modérée**

Les rivières classées dans ce type à partir des traitements statistiques n'ont pas été reclassées dans une autre catégorie à l'issue de la reconnaissance de terrain. Par contre, trois rivières initialement classées dans le type 5 ont finalement été rattachées à ce groupe :

- l'ürchbach, qui présente des signes indéniables de dynamique latérale (quoique très modérée) ;
- la Zembs, pour les mêmes raisons ;
- la Scheer, qui présente des variations hydrologiques notables (DDAF Bas-Rhin, 1997) et une dynamique très modérée (reconnaissance au cours de la campagne de terrain de l'été 1999) ayant conduit à l'apparition d'une légère sinuosité correspondant aux conditions actuelles d'écoulement dans le train de paléo-méandres (cf. supra).

Les rivières suivantes ont été rattachées à ce type :

- la Vieille Thur ;
- la Blind en aval de l'Illwald ;
- le réseau de défluents au S-E d'Ebersmunster (Muehlbach, Schwarzlarch...) ;
- le ruisseau de la Weil.

➤ **Type O : Paléo-défluents ello-rhénans, à dynamique faible ou nulle**

Comme il a été indiqué ci-dessus, la reconnaissance de terrain a permis de retirer de ce type l'ürchbach, la Zembs et la Scheer. **Les** rivières Lachter (aval de Gerstheim) et Lutter (amont du Bois de la Lutter) sont maintenues dans ce type.

Les rivières suivantes ont été rattachées à ce type :

- le réseau hydrographique de la Forêt de Colmar, même s'il est compris dans le champ d'inondation de l'III ;
- le Schiffgraben ;
- le Hanfgraben d'Ehnwühr ;
- la Blind en aval de l'Illwald ;

- le Landweggraben ;
- le Fnesengaben ;
- le Hanfgraben de Sand ;
- le Rhin tortu.

2.3.1.5. TYPOLOGIE CEREG DEFINITIVE DES RIVIERES DE LA PLAINES RHENANE

2.3.1.5.1. CARACTERISATION DES TYPES DE LITS

L'emploi des méthodes de reconnaissance naturaliste, d'ordre géomorphologique, a abouti à affiner la classification, d'ordre purement statistique, des cours d'eau de la plaine rhénane, et a conduit à une typologie finale composée de 5 ensembles différenciés. En fonction de cette typologie finale, le tableau 16, de nature analytique, restitue l'ensemble des sites et des variables sur lesquels ont porté les traitements statistiques. Le tableau 17, de caractère plus synthétique, constitue une présentation exhaustive de la typologie résultant de la combinaison des démarches statistiques et naturalistes (typologie CEREG) : il récapitule les principales caractéristiques morphodynamiques de chaque type et précise leur variabilité intrinsèque (excepté pour le type O, qui comprend seulement 2 sites de mesure et pour lequel le coefficient de variation n'a pas d'intérêt).

Il est à noter, pour mémoire, qu'un **type 8 « défluent rhénans sub-actuels »** s'ajoute aux 5 catégories retenues, regroupant les défluent propres du Rhin, très proches du fleuve ; ces défluent (comme le Schaftheu de l'île de Rhinau ou le Roessmoerder de la réserve naturelle d'Offendorf) sont des organes d'écoulement à part, dont l'évolution dépend d'éléments hydro-géomorphologiques très particuliers. La plupart de ces défluent, inclus dans le périmètre zones naturelles protégées (réserves naturelles, réserves biologiques, forêts de protection...), sont l'objet de projets de restauration s'intégrant également dans les perspectives internationales de l'aménagement de "polders rhénans". Ils sont de ce fait soumis à des études spécifiques détaillées et n'ont pas été ici pris en considération, comme nous l'avons souligné plus haut.

Si l'on regarde comment s'ordonnent géographiquement les 5 types de cours d'eau retenus, on reconnaît aisément les effets, sur le réseau hydrographique de la plaine d'Alsace, d'un double gradient (fig. 29), à la fois Ouest-Est et Sud-Nord, les facteurs morphogènes de la mobilité des lits s'amenuisant dans ces deux directions. Il est clair qu'il s'agit là de la traduction directe de la structuration géologique et hypsométrique régionale (opposition horst-graben, éloignement progressif du soulèvement alpin, décroissance consécutive des altitudes vers le Nord) et de ses conséquences, passées et actuelles, sur l'alimentation en eau et en sédiments des cours d'eau alsaciens.

Il est possible d'illustrer l'aspect différencié des lits correspondants à ces cinq types de cours d'eau par un graphique de quelques profils en travers caractéristiques (fig. 30). La largeur du lit et l'allure très irrégulière du fond (Doller7) sont significatives de l'importante dynamique d'un cours de piémont montagneux, soumis à un transit sédimentaire important. La

présence de berges raides, voire en suiplomb, indique l'existence d'une dynamique latérale notable : c'est le cas pour Andlau⁸, pour Borner^{12 t}, à un degré nettement moindre, pour Zembs² (cours d'eau semi-phréatique) et pour Sauer⁷ (ancien chenal du **Rhin**). **Enfin** la présence de vase sur une grande partie de la section, voire sa totalité, traduit le caractère peu actif de l'écoulement de nombreux cours d'eau phréatiques.

Tableau 16 : Valeurs brutes, valeurs moyennes et variabilité des données des 52 sites de mesure classés dans les 5 types de rivières de la typologie de la plaine rhénane du CEREG.

Site	Puls. Spé.	Flotte	VUB	Dens.	Td	Flot.	% VUB tot.	% VUB	% VUB	
Type 1 : Rivières allochtones du piémont des Vosges méridionales et moyennes lits à dynamique latérale importante										
1) L'Orf	16,1	2,26	29,1	40	0,51	56,3	73	35	34	26
2) L'Orf	5,4	0,81	34,4	40	0,62	86,5	61	18	40	44
3) Pottier	33,2	7,14	49,2	124	0,52	94,8	78	39	42	49
4) Pottier	66,5	5,56	19,7	78	0,45	79,9	83	39	27	44
5) Seebach	2,8	2,50	18,6	32	0,53	84,6	74	17	7	54
6) Pottier	152,4	9,70	24,3	125	0,51	129,6	73	59	20	80
7) Pottier	25,2	4,30	38,7	54	0,43	100,9	72	44	21	60
8) Clémence	36,0	4,88	21,5	58	0,54	48,6	65	39	0	32
9) Andlau	51,8	7,70	12,0	65	0,55	57,9	71	42	51	30
10) Brunet2	3,8	1,85	27,1	44	0,59	56,0	71	37	26	29
11) Brunet3	0,9	0,47	22,9	18	0,47	18,7	47	25	26	4
moyenne	35,8	4,3	28,6	61,6	0,6	74,0	71,4	36,7	26,7	41,1
max	0,9	0,6	12,0	17,6	0,4	18,7	46,7	16,4	0,0	4,0
min	162,4	9,7	49,2	126,0	0,6	128,6	82,7	59,4	50,7	80,0
écart type	44,22	3,02	10,48	35,11	0,06	30,28	9,54	12,48	14,90	20,17
coef variation	1,2	0,7	0,4	0,6	0,1	0,4	0,1	0,3	0,6	0,6
Type 2 : Rivières allochtones à dynamique modérée										
1) L'Orf	6,2	0,77	15,0	30	0,46	49,1	75	43	73	8
2) L'Orf	5,4	0,63	17,3	22	0,44	21,0	58	30	36	2
3) Clémence	7,2	1,40	14,1	25	0,51	25,0	62	29	2	16
4) Andlau	14,5	1,20	5,9	39	0,53	15,4	47	28	8	8
5) Andlau	3,9	0,71	10,1	18	0,51	29,3	53	20	48	4
6) Andlau	1,2	0,43	10,8	19	0,43	17,0	55	16	34	0
moyenne	6,4	0,8	12,2	26,6	0,6	26,1	58,2	27,6	33,6	6,3
max	1,2	0,4	5,9	18,0	0,4	15,4	47,4	16,3	2,0	0,0
min	14,8	1,4	17,3	39,0	0,6	49,1	74,7	43,0	73,0	16,0
écart type	4,49	0,37	4,09	7,92	0,04	12,36	9,39	9,34	26,15	5,72
coef variation	0,7	0,4	0,3	0,3	0,1	0,6	0,2	0,3	0,8	0,9
Type 3 : Rivières allochtones de la plaine rhénane septentrionale à dynamique faible parcourant des paléo-chenaux rhénans										
1) Moselle	0,5	0,29	39,9	19	0,44	1,3	38	16	0	1
2) Sauer 7	1,3	0,25	9,4	20	0,57	1,3	44	0	3	0
moyenne	0,8	0,3	24,7	19,5	0,61	1,3	39,8	7,9	1,6	0,6
écart type	0,57	0,03	21,57	0,71	0,09	0,00	6,01	11,17	2,12	0,71
coef variation	0,6	0,1	0,9	0,0	0,18	0,0	0,2	1,4	1,4	1,4
Type 4 : Défluvants ellans à dynamique modérée										
1) Bannwald	1,9	0,52	13,3	16	0,48	39,9	71	40	65	5
2) Bannwald	5,4	0,57	10,9	39	0,63	43,8	73	33	64	11
3) Bannwald	1,3	0,42	14,9	19	0,43	33,1	74	41	48	6
4) Seebach	2,7	3,27	31,8	21	0,49	0,0	40	22	0	0
5) Bannwald	1,8	1,01	18,2	12	0,56	2,9	55	24	6	0
6) Bannwald	3,6	2,02	17,3	21	0,49	14,1	51	41	18	3
7) Lützel	0,4	0,56	20,0	23	0,59	1,3	45	20	3	0
8) Schiltwald	1,6	0,53	11,0	17	0,48	43,8	69	44	70	6
9) Schiltwald	0,8	0,59	16,3	1	0,00	0,0	42	0	0	0
10) Schiltwald	2,3	0,58	6,6	1	0,00	0,0	36	0	0	0
11) Schiltwald	4,7	1,02	8,6	1	0,00	0,0	43	0	0	0
12) Zambel	1,1	0,57	8,8	24	0,53	3,5	40	0	7	0
13) Zambel	1,7	0,62	6,1	21	0,53	1,5	39	0	3	0
moyenne	2,2	0,9	14,1	16,6	0,39	14,1	52,0	20,2	21,1	2,4
max	0,4	0,4	6,6	1,0	0,00	0,0	35,7	0,0	0,0	0,0
min	5,4	3,3	31,8	39,0	0,68	43,8	73,7	43,5	70,0	11,0
écart type	1,60	0,82	7,01	10,85	0,23	18,52	14,58	16,23	27,38	3,57
coef variation	0,7	0,9	0,5	0,7	0,68	1,3	0,3	0,9	1,3	1,6
Type 5 : Défluvants allo-rhénans à dynamique faible ou nulle										
1) Bannwald	1,1	0,70	13,2	1	0,00	0,0	37	0	0	0
2) Felsbach	0,2	0,21	12,7	1	0,00	0,0	39	0	0	0
3) Lützel	1,6	0,76	14,6	1	0,00	0,0	33	0	0	0
4) Lützel	4,0	0,94	8,9	1	0,00	0,0	33	0	0	0
5) Lützel	3,0	0,95	7,8	1	0,00	0,0	35	0	0	0
6) Lützel	2,8	1,06	9,0	1	0,00	0,0	36	0	0	0
7) Lützel	2,8	0,71	7,0	1	0,00	0,0	37	9	0	0
8) Lützel	1,9	0,83	9,4	21	0,45	0,0	39	0	0	0
9) Lützel	1,4	0,53	8,2	1	0,00	0,0	38	0	0	0
10) Lützel	3,4	0,75	8,1	1	0,00	0,0	34	0	0	0
11) Lauffach	1,9	0,58	6,3	1	0,00	0,0	33	0	0	0
12) Lauffach	5,7	0,58	5,1	24	0,53	0,0	42	0	0	0
13) Lauffach	1,7	0,58	8,0	1	0,00	0,0	35	0	0	0
14) Lauffach	1,0	0,58	7,9	1	0,00	0,0	34	0	0	0
15) Lützel	0,3	0,45	10,5	1	0,00	0,0	29	0	0	0
16) Lützel	0,8	0,45	15,0	1	0,00	0,0	29	0	0	0
17) Traubach	0,7	0,76	9,3	15	0,48	0,0	30	0	0	0
18) Traubach	1,5	0,78	8,1	1	0,00	0,0	30	0	0	0
19) Traubach	2,8	0,78	9,0	1	0,00	0,0	30	0	0	0
20) Traubach	0,5	0,43	11,5	1	0,00	0,0	33	0	0	0
moyenne	1,9	0,7	9,5	3,9	0,07	0,0	34,1	0,4	0,0	0,0
max	0,2	0,2	6,1	1,0	0,00	0,0	29,4	0,0	0,0	0,0
min	6,7	1,1	16,0	24,0	0,63	0,0	42,1	8,9	0,0	0,0
écart type	1,41	0,20	2,67	7,12	0,18	0,00	3,47	1,99	0,00	0,00
coef variation	0,7	0,3	0,3	1,8	2,46	0	0,1	4,5	0	0

Tableau 17 : Principales caractéristiques hydro-géomorphologiques des 5 groupes de rivières de la plaine rhénane à partir des sites de mesure et de la reconnaissance qualitative.

	Type ① Rivillochpiémom	Type ② Riv alloch dyna modérée	Type ③ Riv alloch du Nord	Type ④ Défladymmodérée	Type ⑤ Défl à dyna nulle
Puissance spécifique (W.m ⁻²)	35.8 [0.9-152.4 1.21]	6.4 11.21450. 0	0.9 [0.5-1.3]	2.2 [0.4-5.4 0.7]	1.9 [0.2-5.7 0.7]
Pente (‰)	4.3 [0.5-9.7 0.7]	0.9 [0.4-1.4 0.4]	0.3 [0.25-0.29]	0.9 [0.4-3.3 0.9]	0.7 [0.2-1.1 0.5]
Rap. largeur/profondeur, Diamètre moyen (mm)	2.62 [12.0-49.2 0.4] 6.2 [17-125 0.5]	1.22 [5.9-17.3 0.3] 2.6 [18-39 0.3]	24.7 [9.4-39.9] gr ¹ faible 20 [19-20] mobil. faibl.	14.1 [5.6-31.8 0.5] 17 11-39 6 1	9.5 [5.1-15.0 0.3] 4 vase fréquente
Tri sédi ^{ts} fond lit (coef. variat ^e)	0.5 [0.43-0.62 0.05]	0.5 [0.43-0.53 0.1]	0.5 [0.44-0.571]	0.4 [0.0-0.59 0.5]	0.1 vase fréquente
Indice de mobilité pondéré L.	74 [18.7-129.6 0.4]	26 [15.4-49.1 0.5]	1 [1.3-1.3]	14 [0.0-43.8 1.3]	0
Wce de mobilité de Pfankuch	? [46.7-82.7 0.1]	58 [47.4-74.7 0.2]	40 [? - ?]	52 [05.7-73.70.3]	34 [29.4-42.1 0.1]
Pourcentage de faciès lotiques	? [16.4-59.4 0.3]	28 [16.3-43.0 0.3]	S [0-16] gr ¹ nul	20 [0.0-43.5 0.9]	0.4 [0.0-8.9 4.5]
Pourcentage de berges sapées	27 [0.0-50.7 0.6]	6 [2.0-73.0 0.5]	t. [0-3]	21 [0.0-70.0 1.3]	0
% rives occupées par des bancs	41 [4.0-80.0 0.51]	2 [0.0-16.0 0.9]	1 [0-1]	2 [0.0-11.0 1.1]	0
Style fluvial	Méandres divagants, tresses	Lits plus ou moins sinueux, méandres	Paléo-méandres rhénans	Anastomoses, paléo-anastomoses	Méo-anastomoses
Régime hydrologique	Océanique Nivo-glaciaire				
Débordements - inondations					
Echanges nappe-rivière dominants	Rivière → nappe Nappe → rivière	Sud de Colmar Nord de Colmar			
Charge solide dominante	Graveleuse Sableuse Nulle		III	Les + dynamiques	
Alimentation hydrologique	Allochtone Mixte (pics de crue) Avec prise d'eau Drainage phréatq.				
Evolution morphodyn.	Stable Contract ^e en vase ¹ Exhaussement Incision Déplace ^{ts} latéraux		Contract ^e en vase ¹		
Classement des sites de mesure	(10 sites) III7-8, Seebach2, Fecht5, Giessen6, Bnichel2-13, Doller7-8, Andlau4 Thur5.	(7 sites) III9-10, Giessen7, Andlau7-9.	(2 sites) Moder9, Sauer7.	(12 sites) Bornen1-3, BmmwasserZ-3, Lutter3, Schiffwasser1, Orchbach1, Scheerl-2, Zembs1-2.	(21 sites) Seebach2b, Bmmnwasserl, Fallgraben1, Ischertl-5, Lachterl-3, Iaufgrabenl-1, Lutterl-2, Thilygrabenl-3, V.Ergelsenbach1.

Bonne correspondance

(Moyenne [minimum-maximum coefficient de variation

Correspondance partielle

Type ① : Cours d'eau allochtones du piémont des Vosges cristallines, à dynamique latérale très active.

Type ② : Cours d'eau allochtones de la zone médiane de la plaine rhénane, à dynamique modérée.

Type ③ : Cours d'eau allochtones de la plaine rhénane septentrionale, à dynamique faible, parcourant des paléo-chenaux rhénans.

Type ④ : Défluent et paléo-défluent ellans, à dynamique modérée.

Type ⑤ : Paléo-défluent ello-rhénans, à dynamique faible ou nulle.

>>> **+Type ⑥** : Défluent rhénans sub-actuels (pour mémoire).

Figure 29 : Représentation schématique des deux principaux gradients de l'intensité de la dynamique fluviale dans la plaine rhénane.

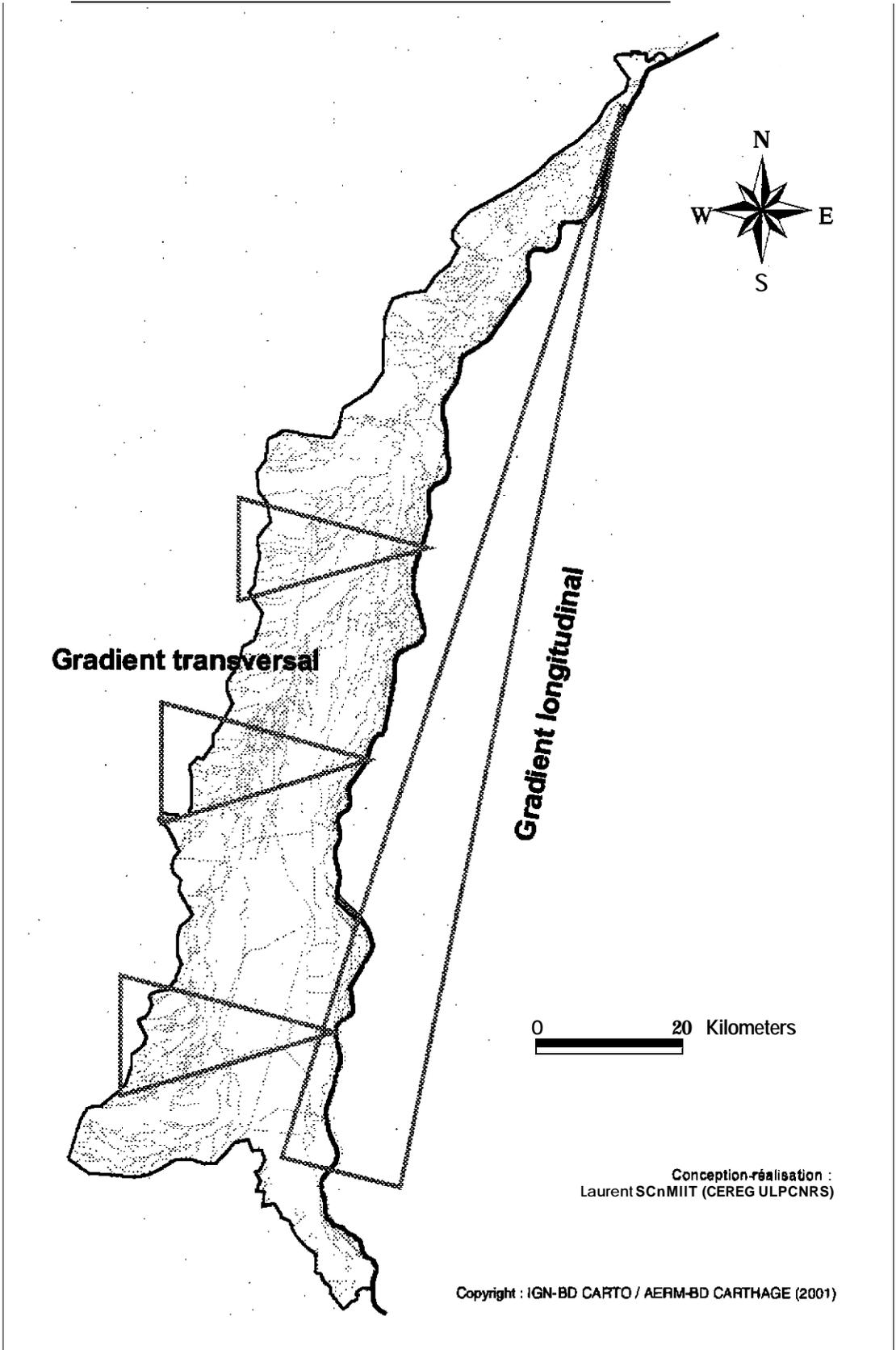
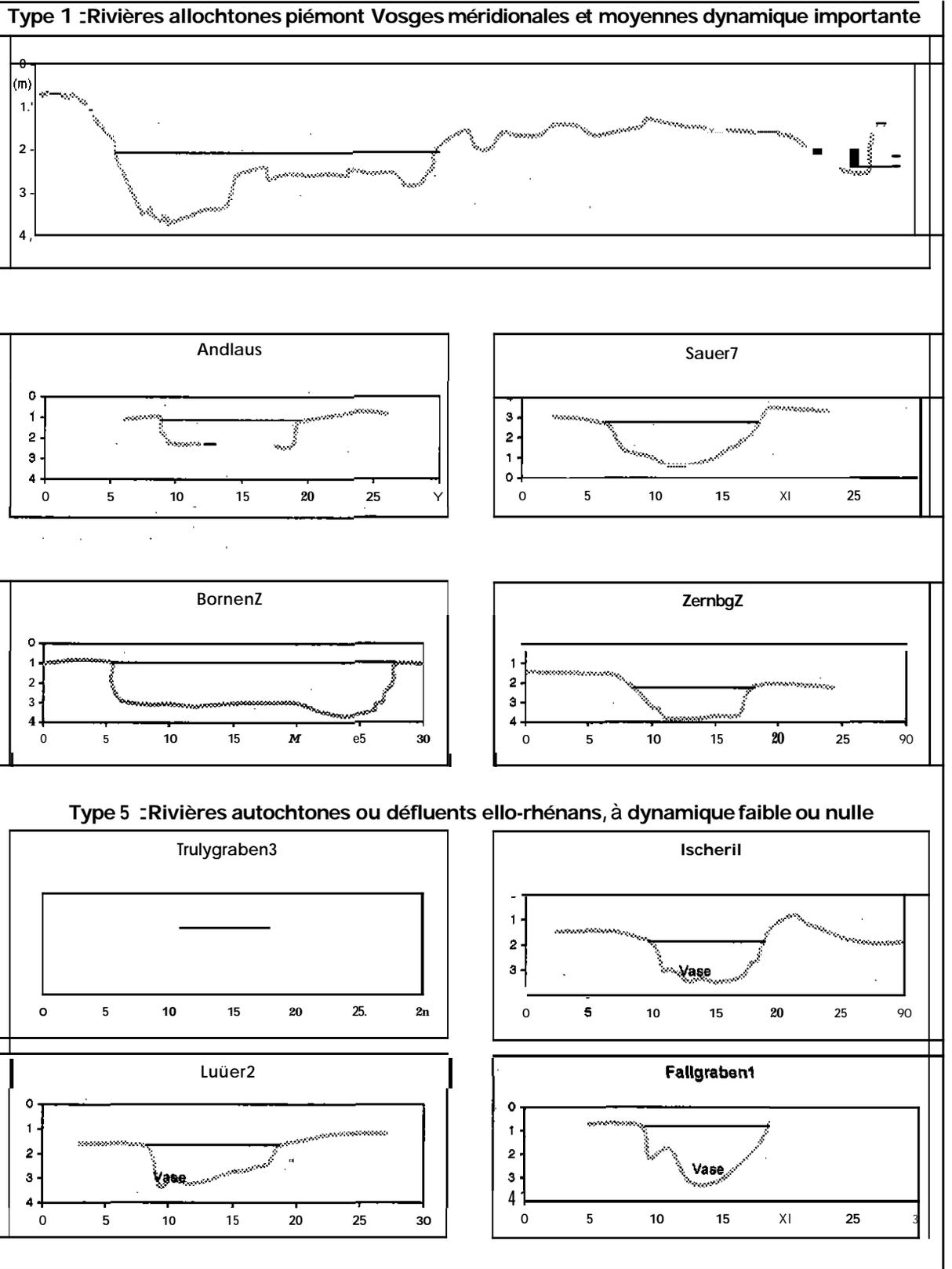


Figure 30 : Exemples de quelques profils en travers des types de rivières de la plaine rhénane.



2.3.1.5.2. APPRECIATIONS DE LA VARIABILITE DE CHAQUE TYPE DERIVIERES

2.3.1.5.2.1. Remarque générale

Pour une même pente de la plaine, la capacité de transport sédimentaire et la dynamique des chenaux sont d'autant plus importantes que le débit est élevé. Ainsi, la dynamique de l'Il1 à hauteur de l'Iliwald (1119 ; $Q_b=22,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; $I_m=49,1$) est nettement plus active que celle de l'Andlau en amont d'Hindisheim (Andlaus ; $Q_b=5,9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; $I_m=29,3$), alors que les pentes sont voisines (7-8 ‰). De même, la dynamique du Bomen est plus importante que celle d'autres défluent ellans à dynamique modérée ayant une pente analogue (par exemple la Lutter aval, le Bronnwasser aval) mais dont les débits sont moindres. En outre, et selon la même logique, les défluent ello-rhénaux à dynamique faible ou nulle tendent à s'envaser d'autant plus rapidement que leur débit est faible, et inversement. Par exemple, la Lachter amont est plus envasée que la Lachter aval, ou le Kesslergraben est plus envasé que le Friesengraben aval.

2.3.1.5.2.2. Appréciations spécifiques à chacun des types

➤ Type O : Cours d'eau aliétones du piémont des Vosges méridionales et moyennes, à dynamique latérale importante

Ce groupe est assez homogène dans l'ensemble. Les sites Doller7 et Thur5 se sont souvent individualisés au cours des traitements statistiques en raison de leur énergie (puissance spécifique, pente) et dynamique latérale particulièrement importantes.

➤ Type O : Cours d'eau allochtones de la zone médiane, à dynamique modérée

Ce groupe est globalement très homogène.

➤ Type O : Cours d'eau allochtones de la plaine rhénane septentrionale, à dynamique faible, parcourant des paléo-chenaux rhénans

Ce groupe est assez homogène dans l'ensemble. La Moder (site Moder9) fait exception car les anciens seuils naturels sont encore très marqués, ce qui est lié au fait que la déconnexion hydrologique de ce chenal vis-à-vis du Rhin est relativement récente; la contraction du lit ne fait que débiter (cf. supra). De ce fait, le pourcentage d'unités morphodynamiques lotiques et le rapport largeur/profondeur sont encore élevés.

Par ailleurs, il est clair que la charge sédimentaire sableuse est nettement plus élevée pour les rivières originaires des Vosges gréseuses du Nord que pour l'Il1 qui mobilise vraisemblablement aussi une petite proportion de matériel graveleux en aval d'Eschau.

➤ Type ④ : Défluent et paléo-défluent ellans, à dynamique modérée

Ce groupe se caractérise pour une variabilité assez élevée car l'intensité de la dynamique latérale de ces défluent est relativement variable :

- défluent affichant une dynamique latérale assez marquée : Bomen, Schiffwasser, Blind aval, Bronnwasser aval (sites 2 et 3), Bennwasser... ;
- défluent dont la dynamique latérale est peu marquée (sapements très peu actifs, seuils naturels non mobiles et irréguliers..) : Scheer, Zembs, Orchbach. ..

➤ Type ○ : Paléo-défluent ello-rhéna, à dynamique faible ou nulle

Sur un plan morphodynamique, la variabilité de ce groupe est faible car ces défluent tendent tous à s'envaser plus ou moins rapidement. ~~Par~~ contre, sur un plan hydrologique, il convient de distinguer **deux sous-types** :

- un sous-type ⑤a à **alimentation exclusivement phréatique**, dont l'alimentation hydrologique est exclusivement assurée par le drainage de l'aquifère (sources limnocènes et holocènes, voir supra ; Trulygraben, Laufgraben, Lachter en amont de Gerstheim, Hanfgraben d'Ehnwahr..) ;
- un sous-type 6 b à **alimentation phréatique mixte par des prises d'eau ou des eaux débordantes de l'III**, dont l'écoulement est assuré conjointement par des prises d'eau (sur des cours d'eau à écoulement généralement superficiel; ~~par~~ exemple le **Rhin** via divers défluent ou canaux..) et ~~par~~ le drainage de la nappe (Ischert, Blind amont, Lachter en aval de Gerstheim...) Certains chenaux de cette catégorie sont par ailleurs situés dans le champ d'inondation de l'III mais les conditions d'écoulement dans le chenal et/ou le champ d'inondation ne permet pas d'induire une morphodynamique ou un désenvasement de ces chenaux (Lutter amont, Hanfgraben de **Sund** aval, Krummiach et Fortslach (**IIZwuld**)...).

☞ La prise en compte de ces sous-types hydrologiques ne nous paraît pas nécessaire pour l'évaluation de la qualité du milieu physique des cours d'eau car le fonctionnement morphodynamique de tous ces chenaux est semblable (pas ou peu de transports sédimentaires, pas de séquences seuils-mouilles régulières, tendance à l'envasement, pas de dynamique latérale...), **par contre, la distinction de ces sous-types paraît utile pour la gestion opérationnelle de ces rivières** (par exemple : comment gérer la prise d'eau amont en fonction des objectifs de gestion de la rivière? Doit-on chercher à provoquer artificiellement des effets de «chasse d'eau » **pour** désenvaser le lit ? Peut-on améliorer la qualité de l'eau en gérant la prise d'eau d'une certaine façon? Gestion des biocénoses aquatiques, en particulier les macrophytes...).

Par ailleurs, le classement du site Seebach2b dans ce groupe est discuté **plus** bas dans le paragraphe consacré à la variabilité des types non compris dans la plaine rhénane (parag. 2.3.6.2.).

➤ Type ⑥ : Défluents rhénans sub-actuels

La variabilité de ces chenaux ayant été évoquée ci-avant, nous n'y revenons pas ici.

2.3.2. LES COURS D'EAU DES COLLINES ET PLATEAUX MARNO-CALCAIRES ET LOESSIQUES

2.3.2.1. METEODOLOGIE

La régionalisation définie plus haut distingue un ensemble « rivières du contrefort jurassien et des collines loessiques du Sundgau ». La présente CAH cherche à explorer plus finement les données des sites correspondant à cet ensemble de cours d'eau pour montrer, soit que ces **sites** forment un ensemble indissociable, soit qu'ils se regroupent en divers sous-ensembles à prendre en compte dans la typologie finale. Nous intégrons dans ce jeu de données les sites concernant les rivières dont le bassin se développe essentiellement dans les collines marno-calcaires et loessiques du Nord de l'Alsace. Celles-ci présentent, en effet, de fortes similitudes avec les **cours d'eau** précités, notamment en ce qui concerne les variables suivantes : granulométrie de la charge solide dominante, sinuosité, rapport largeur/profondeur (cartes 4, 7, 8, 11, etc. de l'annexe 3). Cette CAH est finalement effectuée **sur** 31 sites de mesure @11-6, Larguel-9, Soultzbachl-2, Baerenbach2-3, Mossig7-8, Mosselbachl-2, Kohbachl, Eberbachl-4, Seltzbachl-2, et Hausauerbachl). En outre, parmi les 18 variables non liées à la taille des cours d'eau, 13 variables quantitatives ont été retenues car elles paraissent les plus discriminantes vis-à-vis de la typologie de ces rivières :

- le rapport d'encaissement ;
- la sinuosité ;
- la pente du lit mineur ;
- la puissance spécifique ;
- le rapport largeur/profondeur ;
- la granulométrie (diamètre moyen) ;
- le τ des sédiments du fond du lit (coefficient de variation) ;
- l'indice de mobilité de Ffankuch ;
- l'indice de mobilité pondéré (**L**)
- l'indice de mobilité par étude diachronique ;
- le pourcentage d'unités morphodynamiques lotiques ;
- le pourcentage de berges sapées ;
- le pourcentage de berges soumises à des dépôts (sous forme de bancs).

Le tableau de données contient donc 31 lignes et 13 colonnes. Les variables ont été normalisées, les mesures de distance sont euclidiennes et les distances entre les groupes ont été réalisées d'après leurs moyennes.

2.3.2.2. RESULTATS ET INTERPRETATION

La figure 31 distingue tout d'abord un premier groupe comprenant 3 sites de « rivières à dynamique très active et à granulométrie importante ». Les sites concernés sont Largue6, Largue7 et Soultzbach1. Une analyse détaillée des données afférentes à ce dernier site, ainsi que la ligne de subdivision secondaire du dendrogramme de la figure 31, permettent toutefois de disjoindre le site Soultzbach1 des deux sites précédents. En effet, le site Soultzbach1 concerne un lit de tête de bassin, donc de pente élevée, et qui présente la particularité de s'être fortement encaissé dans des colluvions loessiques de pied de versant¹¹, d'où un rapport d'encaissement très faible. Ceci explique pourquoi le site Soultzbach1 a été associé par la CAH aux sites Largue6 et Largue7, bien qu'il ne présente pas, comme ces derniers, une dynamique latérale très active. Les sites Largue6 et Largue7 concernent au contraire un lit de taille relativement importante (surface de laire drainée de plus de 115 km²) qui, en raison d'importants mouvements néo-tectoniques (Giamboni¹², communication orale), affiche des valeurs de pente significativement plus élevées et des valeurs du rapport d'encaissement nettement moindres qu'en amont et qu'en aval du cours de la Largue. De fait, la puissance spécifique est localement d'environ 50 à 90 W.m⁻², d'où une granulométrie du fond du chenal relativement grossière, une dynamique latérale très active et un rapport largeur/profondeur relativement élevé (tabl. 18). Les traitements statistiques ultérieurs nous permettront le cas échéant de rattacher ces deux sites à un autre type de rivières.

La ligne de subdivision principale du dendrogramme de la figure 31 distingue, outre les cours d'eau précités, un ensemble de 28 sites dont les caractéristiques générales sont celles de rivières alluviales des collines et plateaux mamo-calcaires et loessiques (tabl. 18). Cependant, une subdivision secondaire très nette apparaît dans cet ensemble et dissocie deux sous-groupes de 11 et 17 sites (fig. 31). Le tableau 19 montre que le premier sous-groupe, « rivières à granulométrie faible et à dynamique modérée », se distingue par de faibles valeurs de pente, de puissance spécifique, du pourcentage d'unités morphodynamiques lotiques, de granulométrie des sédiments du fond du chenal, du pourcentage de bancs et d'indice de mobilité pondéré. Ce sous-groupe contient les sites Iil6, Soultzbach1, Mossig7-8, Mosselbach2, Kohbach1, Eberbach2-4, Seltzbach1 et Hausauerbach1. Le point le plus marquant de ces sites est que la plupart d'entre eux (8 sur 11) ne contiennent pas de sédiments grossiers, d'où les faibles valeurs du pourcentage d'unités morphodynamiques lotiques et de dépôts de berges sous forme de bancs.

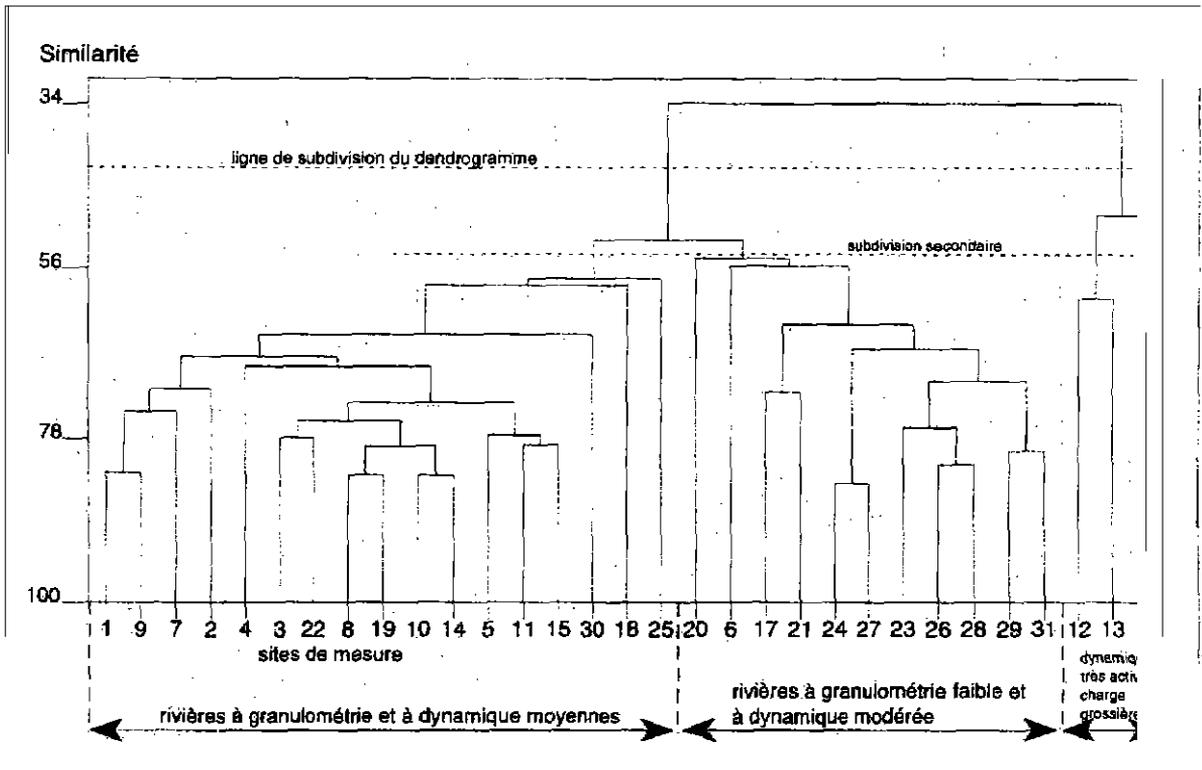
Le dendrogramme de la figure 31 individualise un second sous-groupe interprété comme des « rivières à dynamique modérée et à granulométrie moyenne ». Ce dernier présente de fortes similitudes avec le sous-groupe précédent pour les variables rapport d'encaissement, sinuosité, rapport largeur/profondeur et indice de mobilité par étude diachronique des cartes. En ce qui concerne les autres variables prises en compte, les valeurs moyennes de ce sous-groupe sont grossièrement intermédiaires entre le sous-groupe « rivières à granulométrie faible et à dynamique modérée » et le groupe « rivières à dynamique très active et à granulométrie importante ». Ce sous-groupe « rivières à granulométrie et à dynamique moyennes » contient les sites 1111-5, Largue5, Largue8-9, Baerenbach2-3, Mosselbach1, Eberbach1, et Seltzbach2. Compte tenu des remarques précédentes concernant le site Soultzbach1, il paraît logique d'associer également celui-ci à ce sous-groupe. Pour l'essentiel, ces sites correspondent au réseau hydrographique se développant sur les cailloutis du Sundgau. Ces résultats tendraient donc à valider le sous-type de l'Agence « Cours d'eau sur cailloutis du Sundgau ». Cependant, certains sites de ce sous-groupe sont également liés à d'autres conditions pouvant expliquer une énergie et une granulométrie relativement

¹¹ Il est possible que cet encaissement ait une origine uéo-tectonique.

¹² Geologisch-Palaontologisches Institut, Bâle, Suisse.

importantes : incision de pieds de versants mammo-calcaires en tête de bassin (Eberbachl, Soultzbachl), apports grossiers de l'amont ou provenant de sapements de berges (Baerenbachî-3, Mosselbachl), ou encore apports de petits galets à partir de reprises de la terrasse de la Forêt de Haguenau dans laquelle s'incise le lit, comme c'est le cas pour le site Seltzbach2. Dans ce cas, le rapport largeur/profondeur reste malgré tout faible en raison de l'importante charge solide argilo-limoneuse provenant de l'amont. Enfin, il est à noter que les « cours d'eau de côtes calcaires et mammo-calcaires » (sites IIII et Larguel) ne se distinguent pas à ce stade de notre analyse et semblent présenter les caractéristiques générales de ce sous-groupe de sites.

Figure 31 : Dendrogramme de la CAH des 31 sites localisés sur les rivières des collines et plateaux mammo-calcaires et loessiques.



	Wv/Wl	Sin	Pente (%)	Pspé (W.m ³)	W/D	Dmoy (mm)	Tri	Pfank	Loti (S)	Sape ^h (%)	Bancs (%)	1	Diachm
Enr. 1	38 [3-101 0.0]	1.4 [1.1-2.1 0.2]	3.4 [0.5-11 0.7]	114200 [ia]	7.0 [1.1-11 0.11]	28 [1440.1]	0.5 [0.3-1.0 0.3]	60 [39-76 0.3]	18 [0-46 0.5]	44 [2-81 0.5]	8 [0-24 0.7]	34 [0-62 0.5]	2.1 [2-3]
Enr. 2	2.6 [1.5-3.8 0.5]	1.2 [1.1-1.3 0.1]	11.0 [7.1-20 0.9]	61 [47-89 0.1]	11.9 [6.9-16 0.1]	81 [67-98 0.2]	0.5 [0.5-0.5 0.0]	75 [72-78 0.0]	29 [21-36 0.3]	30 [18-47 0.5]	21 [10-35 0.0]	46 -1-61011	3.3 [3-4]

Tableau 19 : Valeurs moyennes, minima, maxima et coefficients de variation des variables des sous-groupes «(rivières à granulométrie faible et à dynamique modérée » et «(rivières à granulométrie et à dynamique moyennes ».

	Wv/Wl	Sinuo	Pente (%)	Pspé (W.m ²)	W/D	Dmoy (mm)	Tri	Pfank	Loti (%)	Sape ¹⁵ (%)	Bancs (%)	I _m	Diachro
Ens. 1	44 [18-101 0.6]	1.4 [1.2-2.1 0.2]	1.5 [0.5-3.7 0.7]	7.8 [2-16 0.6]	6.1 [3.3-13 0.3]	13 [1-59 1.6]	0.3 [0.3-0.7 0.3]	54 [39-62 0.2]	3.6 [0-15 1.6]	32 [2-81 0.8]	2 [0-5 1-1]	18 [8-42 0.7]	2.2 [2-2]
Ens. 2	34 [3-75 0.6]	1.4 [1.1-2.1 0.2]	4.6 [1.2-11 0.7]	24 [12-42 0.4]	7.6 [5-21.5 0.2]	37 [17-64 0.4]	0.6 [0.4-1.0 0.2]	63 [55-76 0.3]	27 [5-46 0.4]	51 [22-80 0.3]	12 [2-24 0.3]	44 [21-62 0.2]	2.0 [2-2]

Moyenne [minimum-maximum coefficient de variation]

Ens. 1 : rivières à granulométrie faible et à dynamique modérée.

Ens. 2 : rivières à dynamique modérée et à granulométrie moyenne.

2.3.3. LES COURS D'EAUDES VOSGES CRISTALLINES

2.3.3.1. METEODOLOGIE

La régionalisation définie plus haut distingue, parmi les rivières des Vosges cristallines, trois groupes :

- les torrents ;
- les rivières à dynamique modérée des vallées des Vosges cristallines ;
- les rivières de piémont à dynamique latérale active.

La présente CAH cherche à détailler ces distinctions et, de façon plus générale, à évaluer la variabilité hydro-géomorphologique de ces cours d'eau. Le jeu de données pris en compte contient tous les sites des cours d'eau sélectionnés des Vosges cristallines, du bassin de la Doller à celui de la Bruche, excepté le site Seebach2b, qui est un chenal à alimentation phréatique et que nous avons intégré dans les analyses statistiques concernant les cours d'eau de plaine. Alors que tous les sites de la Bruche sont intégrés dans ce jeu de données, ceux des affluents de cette rivière dont le bassin se développe majoritairement dans des formations sédimentaires gréseuses, n'ont pas été pris en compte. Il s'agit des sites du Ruisseau de Champenay et de la Mossig. En outre, nous incorporons dans ce jeu de données les deux sites Largue6 et Largue7, pour tenter de les rattacher, le cas échéant, à l'un des types des Vosges cristallines. Le nombre total de sites est ainsi de 71 : Largue6-7, Doller1-8, Baerenbach1, RauAlfeld1-2, Thur1-5, Seebach1-2, Erzenbach1-2, Fecht1-5, PetiteFecht1-5, Giessen1-7, GiessenSteigel-3, Liepvrettel-4, Andloul-6, Bmchel-13, Hasell-4, Schirrgouttel-2.

Le choix des variables prises en compte a été réalisé pour faciliter l'interprétation. Ainsi, compte tenu des caractères très variés de la morphodynamique des cours d'eau des Vosges cristallines, comme l'indique la première régionalisation, on a visé à limiter le plus possible le nombre de variables. Pour cela, on a cherché à éviter les effets de redondance et à exclure les variables peu discriminantes qui conduisent à augmenter inutilement la variabilité de la matrice de données, ce qui peut conduire à des résultats de peu d'intérêt et rend l'interprétation plus délicate. L'application de cette règle conduit à retenir 7 variables quantitatives :

- le rapport d'encaissement ;
- la puissance spécifique ;
- la granulométrie (diamètre moyen) ;

- le **tri** des sédiments du fond du lit (coefficient de variation) ;
- l'indice de mobilité pondéré (**1**) ;
- l'indice de mobilité par étude diachronique ;
- le pourcentage d'unités morphodynamiques lotiques.

Le rapport largeur/profondeur n'a pas été pris en compte car cette grandeur n'a pas de signification pour les torrents **non** alluviaux. Bien entendu, nous pourrions avoir recours à cette variable, ainsi qu'à d'autres variables **non prises** en compte dans l'analyse statistique, au cours de l'interprétation.

Le tableau de données contient donc 71 lignes et 7 colonnes. Les variables ont été **normalisées**, les mesures de distance sont euclidiennes et les distances entre les groupes ont été réalisées d'après leurs moyennes.

2.3.3.2. RESULTATS ET INTERPRETATION

Le dendrogramme de la figure 32 fait tout d'abord apparaître une distinction très nette entre les torrents montagneux (cours d'eau **non** alluviaux¹³) et les **cours d'eau** alluviaux des vallées ou du piémont. Le site 23 (Fechtl), également **un** torrent, est isolé en raison de ses valeurs exceptionnelles de pente (400 ‰ !) et de puissance spécifique (7400 W.m⁻² !). Ces lits torrentiels peuvent inciser la roche mère (lit rocheux) ou être constitués de sédiments très grossiers et hétérométriques pouvant provenir de **l'amont** (à l'occasion d'événements hydrologiques plus ou moins rares; **Chin**, 1998), des versants latéraux, ou de dépôts glaciaires hérités lavés et faiblement remaniés. **Par** ailleurs, ces torrents présentent une variabilité relativement importante **de certains** paramètres puisque les coefficients de variation de la pente, de la puissance spécifique et du rapport d'encaissement sont assez élevés : respectivement 0.9 (moyenne de 91.9 ‰), **2** (moyenne de 683 W.m⁻²) et 1.5 (moyenne de 7.1). Cependant, le dendrogramme montre qu'il ne semble pas possible de faire apparaître des subdivisions supplémentaires dans cet ensemble de torrents. Remarquons toutefois l'appartenance dans ce groupe de quelques sites particuliers à fond de vallée évasé (rapport d'encaissement généralement supérieur à 15) glaciaire ou colluvial, pouvant présenter **un** lit dépourvu de séquences marches-cuvettes (Doller4, Thur3-4, Andlau2). **Il** sera éventuellement possible de rattacher ces sites à **un** autre groupe ou sous-groupe de **cours d'eau**. **Enfin**, le site Burche8 est classé dans ce groupe en raison de sa pente élevée (10 ‰) et l'importante granulométrie des sédiments grossiers du fond du chenal (**218** mm). Ces derniers proviennent vraisemblablement des nombreux contacts du lit de la Bruche avec les versants latéraux en amont de ce site (rétrécissement du fond de vallée), ainsi que de dépôts fluvio-glaciaires originaires du bassin de la Schirrgoutte. Ce site devra donc vraisemblablement aussi être classé dans un autre groupe de rivières.

Le dendrogramme de la figure 32 individualise **parmi** le groupe des rivières alluviales (ou sub-alluviales, c'est-à-dire s'écoulant sur des formations fluvio-glaciaires ou en provenance des versants latéraux) trois sous-groupes :

- **un** sous-groupe de lits dont la puissance spécifique et la granulométrie sont élevées (moyennes respectives de 85 W.m⁻² et 313 mm) et dont la dynamique est

¹³ **Au sens commun de cette expression.**

cependant limitée (indice de mobilité latérale pour étude diachronique de cartes de 1.4¹⁴). Ce sont des lits des vallées intra-montagnardes des Vosges cristallines pour lesquels la pente est élevée (moyenne de 12 ‰). La faiblesse de la dynamique latérale, s'explique par l'efficacité de la stabilisation des berges par la ripisylve car ces chenaux sont de taille relativement modeste, ainsi que par une granulométrie importante des sédiments du fond des chenaux et des berges (fréquemment en provenance d'héritages géomorphologiques - dépôts fluvio-glaciaires - ou des versants, dans les zones de rétrécissement du fond de vallée). Pour cette raison, ces chenaux sont également peu profonds, d'où un rapport largeur/profondeur relativement élevé. Compte tenu de leurs caractéristiques, il semble donc possible de rattacher les sites Doller4, Thur3-4, Andlau2 et Bruche8 à ce sous-groupe. Par ailleurs, le caractère très dynamique des sites Liepvrette3 et Andlau6 conduit à classer ces sites dans un autre ensemble de rivières ;

- un sous-groupe de lits à dynamique très active, généralement en position de piémont des Vosges cristallines, **sur** les cônes de déjection quaternaires. Ces lits présentent une pente moyenne de 6.3 ‰. Comme les débits qui y transitent sont plus élevés que pour le sous-groupe précédent, la puissance spécifique reste élevée (moyenne de 55 $W \cdot m^{-2}$), et ceci bien que le rapport largeur/profondeur soit très important (moyenne de 25.8). **Par** ailleurs, les sédiments déstockés par les reprises de la plaine alluviale sont facilement mobilisés, d'où une dynamique latérale très active (indice de mobilité latérale par études diachronique de cartes de 3.5, indice de mobilité pondéré de 75). Vu les caractéristiques de ce sous-groupe, il est possible d'y rattacher les sites Liepvrette3 et Andlau6. **On** peut remarquer que le site Bruche7 paraît mal classé en raison de sa dynamique nettement moindre que les sites de ce groupe. Il semble ainsi préférable de le rattacher à un autre groupe ou sous-groupe de rivières. Notons enfin que les sites Largue6 et Largue7 sont classés dans ce sous-groupe, ce qui confirme le caractère très dynamique de ces sites ;
- un sous-groupe de lits à dynamique moyenne, qui contient le plus souvent, comme le sous-groupe des lits à dynamique limitée, des sites de rivières des vallées intra-montagnardes. Cependant, contrairement à ce dernier, les pentes sont nettement plus faibles (moyenne de 6.6 ‰, les fond de vallée) sont élargis (rapport d'encaissement moyen de 63.8) et sont constitués de matériel meuble facilement mobilisable. Comme les débits sont ici plus faibles que pour le sous-groupe précédent car les sites sont généralement situés plus en amont, la puissance spécifique est également inférieure (moyenne: 37 $W \cdot m^{-2}$) à celle du sous-groupe précédent. Il en découle une dynamique latérale d'intensité moyenne (indice de mobilité latérale par études diachronique de cartes de 2.6, indice de mobilité pondéré de 30). Il convient de rattacher les sites Bruche12 et Bruche13 au groupe précédent de lits à dynamique très active. En effet, dans le secteur concerné, la Bruche parcourt son cône de déjection et est naturellement dynamique (Maire, 1966). Depuis une trentaine d'années, cette dynamique s'est plus **ou** moins

¹⁴ L'examen des résultats montre que les autres indices de mobilité latérale (indice de mobilité Pfankuch et indice de mobilité pondéré) sont peu discriminants pour le sous-groupe des rivières alluviales des vallées intra-montagnardes des Vosges cristallines à dynamique limitée. En effet, les sapements de berge, qui peuvent être relativement longs, sont généralement peu actifs, et les dépôts graveleux sont, dans la plupart des cas, grossiers et peu mobiles.

atténuée en raison de nombreux aménagements ponctuels. Par ailleurs, les caractéristiques de ce sous-groupe permettent d'y rattacher le site Bruche7.

Il résulte de l'analyse globale de ces résultats que le groupe des torrents montagneux doit être classé dans un groupe clairement distinct, comme l'a précédemment montré la première régionalisation. De même, les lits à dynamique latérale très active doivent faire l'objet d'un **groupe à part** entière, d'autant plus qu'ils ont, eux aussi, été individualisés **par** la première régionalisation. Par contre, les deux ensembles de lits à dynamique limitée et à dynamique moyenne, tous deux concernant des valliées alluviales ou sub-alluviales des vallées intra-montagnardes des Vosges cristallines, semblent se distinguer qu'à un niveau hiérarchique inférieur.

Figure 32 : Dendrogramme de la **CAH** des 71 **sites** localisés sur les rivières des Vosges cristallines.

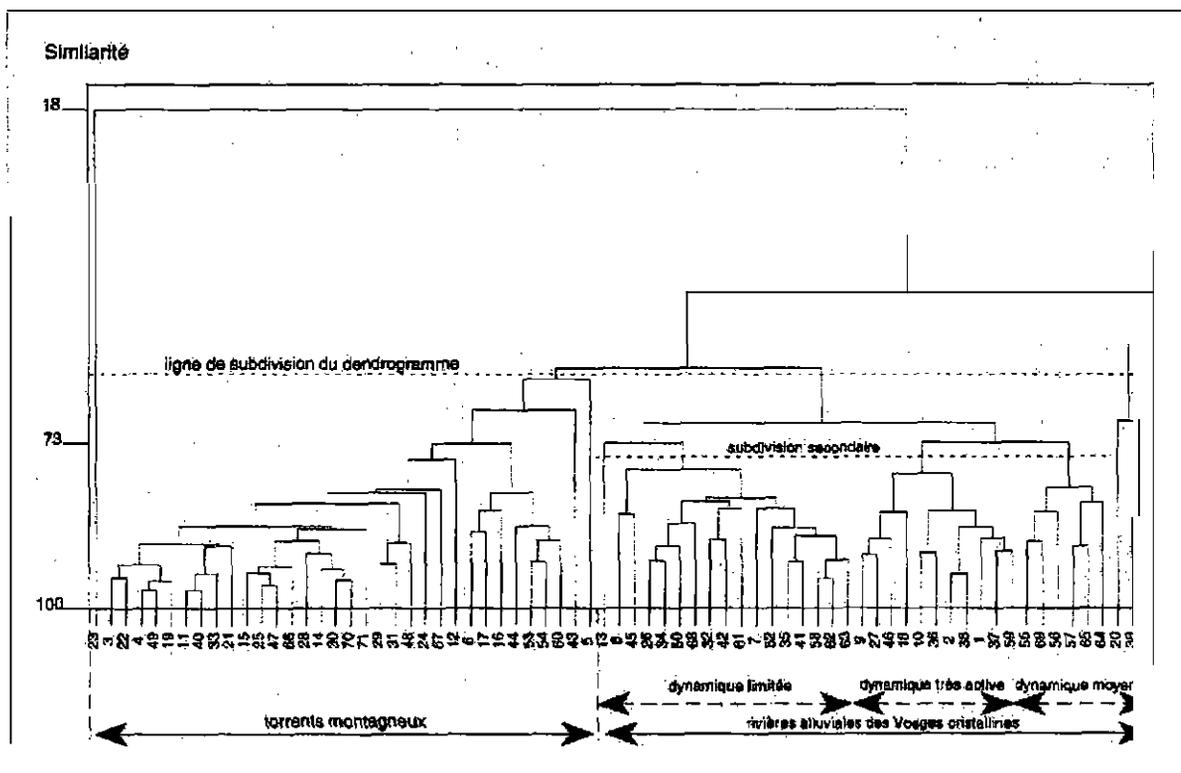


Tableau 20 : Valeurs moyennes, minima. maxima et coefficients de variation des variables des 4 ensembles (groupe et sous-groupes) de cours d'eau des Vosges cristallines.

	Wv/Wl	Sinuo	Pente (%)	Pspé (W.m ²)	W/D	Dmoy (mm)	Tri	Pfank	Loti (%)	Sape ⁿ (%)	Bancs (%)	I _m	Diachro
Ens. 1	4.4 [1-39 1.5]	1.0 [1-1.1 0.0]	105.2 [22-400 0.2]	784 [69-7408 1.9]	11.6 [6-21 0.2]	332 [75-600 0.2]	1.0 [0.8-1.0 0.0]	50 [30-65 0.2]	62 [37-89 0.2]	10 [0-38 1.1]	3 [0-27 0.6]	7 [0-45 1.3]	1.0 [1-2]
Ens. 2	23.2 [4-44 0.5]	1.1 [1-1.2 0.0]	13.2 [4-32 0.6]	92 [7-207 0.2]	15.7 [6-27 0.2]	141 [46-362 0.5]	0.7 [0.4-1 0.2]	53 [37-74 0.2]	63 [45-100 0.5]	19 [4-43 0.2]	14 [0-32 0.2]	30 [2-65 0.5]	1.4 [1-2]
Ens. 3	20.5 [0.6-68 0.9]	1.2 [1-1.4 0.1]	6.1 [0.5-9.7 0.1]	48 [1-152 0.5]	26.5 [12-56 0.6]	73 [18-125 0.2]	0.5 [0.4-0.6 0.1]	72 [47-83 0.1]	40 [21-60 0.3]	26 [0-47 0.4]	40 [4-80 0.5]	73 [19-130 0.2]	3.4 [1-9]
Ens. 4	58.6 [16-122 0.7]	1.3 [1-1.7 0.2]	7.4 [1.4-15.0 0.7]	42 [3-173 1.3]	11.1 [3-20 0.6]	44.4 [16-82 0.5]	0.6 [0.5-0.9 0.2]	56 [33-74 0.2]	34 [17-49 0.2]	13 [0-33 0.9]	15 [5-54 1.1]	30 [8-85 0.5]	2.4 [1-3]

Moyenne [minimum-maximum coefficient de variation]

Ens. 1 : torrents montagneux.

Ens. 2 : rivières alluviales à énergie élevée et dynamique limitée.

Ens. 3 : rivières alluviales à dynamique très active.

Ens. 4 : rivières alluviales à dynamique modérée.

2.3.4. LES COURS D'EAU DES VOSGES GRESEUSES ET DE LA TERRASSE PLIOCENE DE LA FORET DE HAGUENAU

2.3.4.1. METHODOLOGIE

La régionalisation initiale définie plus haut agglomère **un** ensemble relativement vaste de rivières de la région du Nord de l'Alsace. L'objectif de cette CAH est de tenter de mettre en évidence dans cet ensemble d'éventuelles distinctions pertinentes dans la typologie à réaliser.

Le jeu de données pris en compte contient tous les cours d'eau sélectionnés dans les Vosges gréseuses (Hautes et Basses Vosges gréseuses) et du cône sableux pliocène de la Forêt de Haguenau. Les cours d'eau du Nord de l'Alsace dont le bassin est exclusivement mamocalcaire et loessique n'ont pas été retenus puisqu'ils ont été intégrés à la CAH spécifique de ces rivières (cf. supra). Par contre, **on** a retenu les sites localisés sur les cours d'eau originaires des Vosges gréseuses, parcourant les collines mamocalcaires et loessiques et situés à l'Est de la faille vosgienne au Nord de Wasselonne. Le nombre total de sites est de 47 : Mossigl-8, Rau de Champenayl-2, Moderl-8 (le site Moder9 n'est pas intégré, car il a été pris en compte dans la typologie spécifique des cours d'eau de plaine; cf, infra), Zinsell-8, **Zoml-10**, Sauerl-6, Halbmuehlbachl-2 et Eberbach5-7. Comme pour le traitement statistique précédent, la sélection des variables a été guidée par le souci de faciliter l'interprétation des résultats. Pour cela, **on** a cherché à éviter les effets de redondance et à exclure les variables peu discriminantes. De cette façon, 7 variables quantitatives ont été sélectionnées :

- le rapport d'encaissement ;
- la sinuosité ;
- la puissance spécifique ;
- la granulométrie (diamètre moyen) ;
- l'indice de mobilité pondéré (I_m) ;
- l'indice de mobilité par étude diachronique ;
- le pourcentage d'unités morphodynamiques lotiques.

Le tableau de **données** contient donc 47 lignes et 8 colonnes. Les variables ont été normalisées, les mesures de distance sont euclidiennes et les distances entre les groupes ont été réalisées d'après leurs moyennes.

2.3.4.2. RESULTATS ET INTERPRETATION

Le dendrogramme de la figure 33 fait apparaître une distinction principale entre les rivières alluviales des Vosges gréseuses et les torrents montagneux. Ces derniers se situent généralement dans des fonds de vallée **non** alluviaux ou dont le fond alluvial est très peu développé (rapport d'encaissement moyen de 4.4) et dont les séquences d'unités morphodynamiques sont généralement de type marches-cuvettes. Il s'agit des torrents de tête de bassin des Hautes Vosges gréseuses (massifs de la Chatte Pendue, du Rocher de Mutzig..). **Leur** énergie est élevée (pente moyenne de 53.0 ‰, puissance spécifique moyenne de 186 W.m^{-2}), ainsi que leur granulométrie (moyenne de 277 mm) et leur pourcentage d'unités morphodynamiques lotiques (moyenne de 61 ‰). Ces caractéristiques permettent d'associer ces torrents à ceux des Vosges cristallines. Ces derniers peuvent cependant présenter des valeurs de pente, de puissance spécifique et de granulométrie plus élevées en raison des altitudes plus élevées des Vosges **cristallines**, ainsi que de la plus grande résistance à l'érosion des roches qui composent cette unité naturelle (granite, grauwacke...). Notons enfin que ce groupe contient deux sites dont le classement est discutable :

- le site Zinsell qui présente des séquences marches-cuvettes, mais qui se situe dans les Basses Vosges gréseuses. Ce site serait à classer, avec le site Moderl (N°11 de la figure 33), dans **un** groupe à ~~créer~~ de **cours** d'eau de tête de bassin des Basses Vosges gréseuses à fonds de vallée **non** alluviaux en « V_B, ou colluviaux. Ce sous-groupe ne s'individualise pas statistiquement probablement en raison du nombre trop restreint de sites qui le concernent. Ces **lits** peuvent présenter des séquences marches-cuvettes de **petite** taille ou des séquences seuils-mouilles. Dans un cas comme dans l'autre, la granulométrie dépasse rarement 100 mm (même pour les galets constituant les marches) ;
- le site Mossig6, qui se situe dans le rétrécissement du fond de vallée du horst du Kronthal au niveau duquel la pente longitudinale est plus élevée qu'en amont 'et qu'en aval (16.6 ‰ au niveau du site, contre 8.3 ‰ pour le site Mossig5 et 1.4 ‰ **pour** le site Mossig7). Après analyse des caractéristiques de ce site, il semble possible de le rattacher, avec les sites Mossig3, Mossig4 et Zorn4, dont la morphologie est voisine, au sous-groupe de rivières alluviales intra-montagnardes à dynamique limitée précédemment défini à partir des rivières des Vosges cristallines.

L'analyse et l'interprétation détaillées de l'ensemble des sites des rivières alluviales des Vosges gréseuses fait apparaître, plus ou moins nettement, quelques sous-groupes que l'on peut tenter d'interpréter comme suit :

- **un** sous-groupe contenant essentiellement les sites de la terrasse sableuse pliocène de la Forêt de Haguenau, ainsi que deux sites **non** compris dans **cette** unité naturelle, **mais** dont certaines caractéristiques sont voisines : les sites Zorn6 (N°32)

et Zorn⁸ (N°34). Par ailleurs, le site Eberbach⁵ (N° 45) de la Forêt de Haguenau n'est pas compris dans ce sous-groupe, ce qui s'explique par le fait que ses caractéristiques sont sensiblement différentes de celles des autres sites de la Forêt de Haguenau (pente, puissance spécifique, pourcentage d'unités morphodynamiques lotiques). Hormis ces sites «mal classés», les cours d'eau de ce sous-groupe ont la particularité d'être généralement très sinueux (indice de sinuosité de l'ordre de 1.5, voire davantage), très dynamiques (indice de mobilité par étude diachronique de cartes élevé de 3 ou de 4¹⁵), et d'avoir une charge sédimentaire sableuse souvent très importante. Il est à noter qu'une partie du réseau hydrographique des rivières de la Forêt de Haguenau s'incise fortement dans la terrasse (rapport d'encaissement entre 10 et 15, contre une valeur de près de 200 en l'absence d'incision) en raison de mouvements néo-tectoniques récents. Cette incision est principalement commandée¹⁶ par une faille post-mindel (Ménillet¹⁷, communication orale), mais peut-être plus récente (Vogt¹⁸, communication orale), à l'Est du talus oriental de la terrasse. Le rejet est de l'ordre de 20 m. De fait, l'incision régressive s'est plus ou moins propagée vers l'Ouest, essentiellement en fonction de l'importance des débits des cours d'eau, ce qui explique les variations de la pente, de la puissance spécifique, de l'importance de la charge sédimentaire et de l'intensité de l'activité morphodynamique des sites de la Forêt de Haguenau. Les débits de la Sauer et du Halbmuehlbach étant relativement élevés, ces rivières sont encaissées sur l'intégralité de leur cours dans la terrasse. Par contre, les rivières dont les débits sont moindres, comme par exemple l'Eberbach, ne sont incisées que sur la partie aval de leur cours dans la terrasse. Ainsi, le site EberbachS n'est pas encaissé (d'où son «mauvais» classement), alors que le site Eberbach6 l'est fortement. Plus généralement, l'exemple donné plus bas de la sectorisation de cours d'eau fondée sur la variation longitudinale de la puissance spécifique montre que l'incision d'une partie du réseau hydrographique de la terrasse de la Forêt de Haguenau influence fortement la morphodynamique actuelle de ces chenaux. En outre, cette incision peut s'accompagner d'un important drainage de la nappe phréatique locale, duquel découle une hydrodynamique également différenciée, car cela a été mis en évidence sur l'Eberbach (Gresse, 2000). En conséquence, il paraît important de faire apparaître dans la typologie définitive un groupe de cours d'eau de la terrasse de la Forêt de Haguenau dans lequel on peut distinguer un sous-groupe, assez limité, de lits non incisés, et un sous-groupe, plus important, de lits incisés ;

- un sous-groupe de rivières alluviales très ensablées et peu dynamiques des Basses Vosges gréseuses. Ce sous-groupe s'individualise moyennement bien car deux sites présentant ces caractéristiques ne se retrouvent pas dans ce sous-groupe (Zinsel3 - N°21 et Zinsel8 - N°26) et le site Sauerl (N°37) est contenu dans ce sous-groupe alors qu'il n'est pas totalement ensablé. A la lumière d'une récente

¹⁵ L'indice de mobilité pondéré est ici relativement faible, malgré une importante dynamique latérale constatée par étude diachronique des cartes. Ceci s'explique par le faible développement de bancs latéraux car le sable, qui représente l'essentiel de la charge sédimentaire en transit, ne peut se déposer que dans les zones où les vitesses sont très faibles (de l'ordre de quelques cm.s⁻¹ ; Hjulström, 1935). De fait, les lits mineurs ne présentent des bancs latéraux que sur des linéaires relativement réduits des berges convexes, d'où des indices de mobilité pondéré relativement faibles.

¹⁶ Des mouvements néo-tectoniques secondaires sont cependant également perceptibles (Carrom, Messoussi ; Faculté de Géographie et d'Aménagement de Strasbourg).

¹⁷ Service Géologique d'Alsace-Lorraine.

¹⁸ Professeur, Faculté de Géographie et d'Aménagement de Strasbourg.

étude sur la question (Thiebaut-George et al., 2001), l'ensablement des rivières alluviales des Basses Vosges gréseuses apparaît comme 'un phénomène globalement naturel. Les tronçons les plus touchés sont disposés assez irrégulièrement, notamment dans les zones où la pente de la ligne d'eau est la plus faible et où les apports **sédimentaires** sont les plus importants. Cependant, il est avéré que certaines activités humaines peuvent accentuer localement les dépôts sableux (gestion forestière, anciens seuils artificiels, abandon d'anciennes pratiques d'entretien des rivières - Piemon, 1989-1999 - ...). Il découle de ces considérations qu'il ne semble pas pertinent d'individualiser un sous-groupe spécifique de rivières alluviales des Vosges gréseuses ensablées. Par contre, cette spécificité est à prendre en compte dans la variabilité des rivières alluviales des Basses Vosges gréseuses ;

- **Un** sous-groupe 1 de rivières alluviales de larges plaines alluviales (rapport d'encastement moyen de 43), mais ce sous-groupe s'individualise et s'interprète très mal vis-à-vis de l'ensemble des sites du jeu de données. Il ne peut donc pas être retenu comme un sous-groupe à part entière ;
- **Un** sous-groupe 2 de rivières de plaines alluviales assez étroites (rapport d'encastement moyen de 17) et à granulométrie assez grossière (diamètre moyen de 77 mm). Cependant, comme pour le sous-groupe 1, l'interprétation de ce sous-groupe est difficile; ce qui conduit à ne pas le prendre en compte.

On peut donc déduire de cette interprétation que, exceptées les rivières de la terrasse de la Forêt de Haguenau, les rivières alluviales des Vosges gréseuses semblent **former un ensemble globalement assez cohérent et homogène** (sinuosité, rapport largeur/profondeur, la charge solide dominante), bien que la variabilité interne de ce groupe ne soit pas négligeable (rapport d'encastement, pente, puissance spécifique, granulométrie, pourcentage d'unités morphodynamiques lotiques). Plus généralement, il est possible de mettre en évidence les groupes et sous-groupes de **cours** d'eau suivants parmi les cours d'eau des Vosges gréseuses :

- les torrents montagneux des Hautes Vosges gréseuses, qui sont à rattacher au groupe des torrents montagneux, identifié au cours de l'interprétation de la **CAH** des cours d'eau des Vosges cristallines ;
- **un** groupe de cours d'eau de tête de **bassin non** alluviaux à fond de vallée en « V », ou colluviaux des Basses Vosges gréseuses ;
- **un** ensemble assez vaste de rivières alluviales des Vosges gréseuses, qu'il est possible de subdiviser comme suit :
 - des rivières alluviales à énergie élevée et à dynamique limitée, situées dans les Hautes Vosges gréseuses en aval des torrents montagneux, et qui doivent être rattachées au sous-groupe des rivières alluviales à énergie élevée et à dynamique limitée mis en évidence **dans** les 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 ;
 - et un sous-groupe de lits incisés ;
 - un groupe de rivières alluviales des Vosges gréseuses à énergie généralement faible et à dynamique plus ou moins active. Ces rivières peuvent être localisées dans les Vosges gréseuses ou être originaires des Vosges gréseuses et parcourir les collines marno-calcaires et loessiques. De

fait, il paraît nécessaire de montrer si des différences apparaissent entre les cours d'eau de ces deux localisations. Le prochain traitement statistique s'attachera à éclaircir cette question.

Figure 33 : Dendrogramme de la CAH des 71 sites localisés sur les cours d'eau des Vosges gréseuses et des formations alluviales du Nord de l'Alsace.

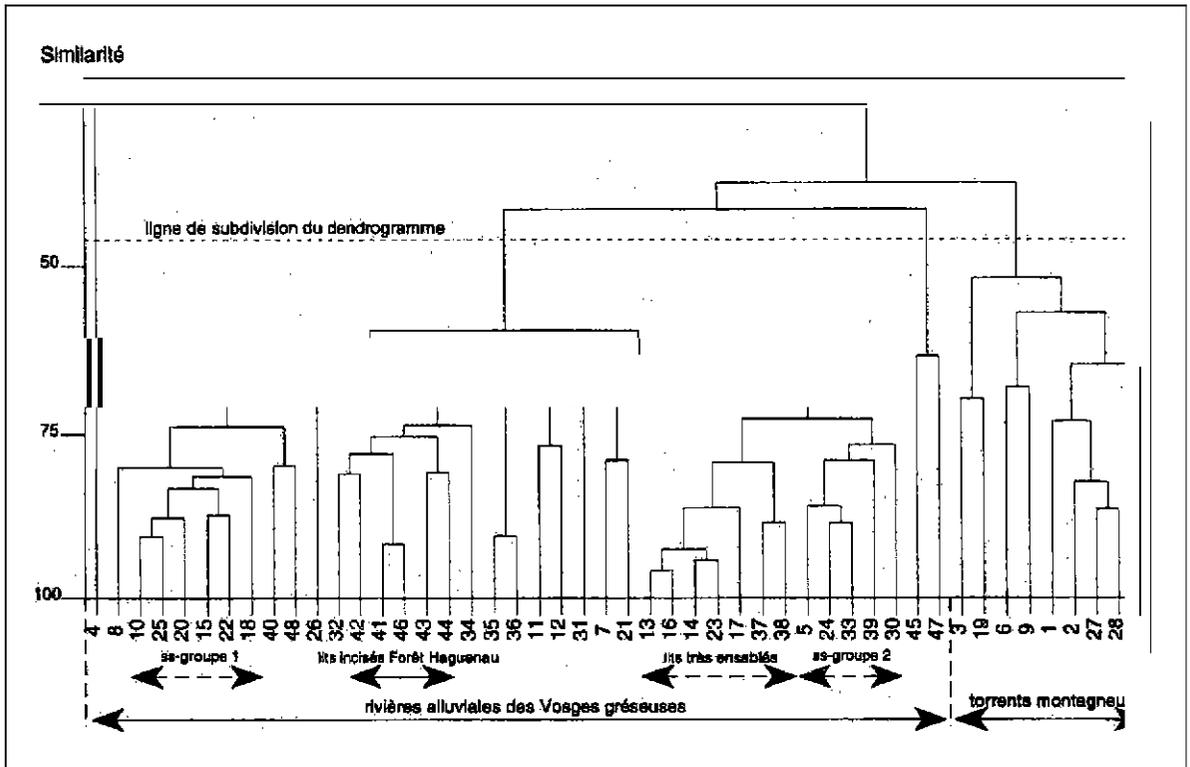


Tableau 21 : Valeurs moyennes, minima, maxima et coefficients de variation des variables des cinq ensembles de rivières individualisés dans les Basses et Hautes Vosges gréseuses.

	Wv/Wl	Sinuo	Pente (%)	Pspé (W.m ⁻²)	W/D	Dmoy (mm)	Tri	Pfank	Loti (%)	Sape ^h (%)	Bancs (%)	I _m	Diachro
Ens. 1	2.5 [1.5-3.0]	1.0 [1.0-1.0]	64.8 [21-111.0]	217 [95-387.0]	9.8 [6.6-15.0]	363 [179-454.0]	0.9 [0.4-1.0]	49 [35-59.0]	62 [47-70.0]	1 [0-6.0]	2 [0-10.0]	4 [0-18.0]	1.0 [1-1]
Ens. 2	2.8 [2-4]	1.0 [1-1]	38.6 [19-59]	57 [54-60]	8.3 [4-13]	64 [16-112]	1.0 [0.97-1.0]	61 [60-61]	64 [34-95]	17 [9-24]	3 [1-4]	12 [6-18]	1.0 [1-1]
Ens. 3	8.9 [2-21.0]	1 [1.0-1.0]	13.9 [10-17.0]	94 [30-280.0]	15.1 [9.3-26.0]	132 [101-193.0]	0.7 [0.5-1.1]	43 [34-55.0]	49 [33-60.0]	6 [0-13.0]	5 [0-15.0]	10 [4-22.0]	1.3 [1-2]
Ens. 4a Eherbachs	204	1.7	0.58	1	8.4	17	0.7	52	0	23 peu actifs	2	15	3
Ens. 4b	12.5 [11-15.0]	1.5 [1.3-1.7.0]	1.4 [0.3-2.4.0]	5 [0.4-8.5.0]	9.1 [7.4-12.4.0]	15 [10.5-19.0]	0.6 [0.5-0.8.0]	72 [63-76.0]	14 [0-25.0]	28 [18-36.0]	12 [5-20.0]	31 [21-44.0]	3.6 [3-4]
Ens. 5	45.9 [3-284.0]	1.3 [1-2.0]	2.2 [0.3-10.0]	11 [0.3-75.0]	8.8 [5-12.7.0]	21 [1-88.0]	0.5 [0.3-1.1.0]	61 [44-84.0]	17 [0-65.0]	21 [0-74.0]	6 [0-27.0]	19 [0-52.0]	2.0 [1-3]

Moyenne (minimum-maximum coefficient de variation)

Ens 1 : torrents montagneux.

Ens 2 : cours d'eau de tête bassin non alluviaux (en « V »), ou colluviaux, des Basses Vosges Déseuses.

Ens 3 : rivières alluviales à énergie élevée et à dynamique limitée.

Ens 4a : rivières de la terrasse de la Forêt de Haguenau non incisées.

Ens 4b : rivières de la terrasse de la Forêt de Haguenau incisées.

Ens 5 : rivières alluviales des Vosges gréseuses à énergie faible et à dynamique faible ou modérée.

2.3.5. **DISTINCTION ENTRE LES RIVIERES ALLUVIALES DES VOSGES GRESEUSES ET LES RIVIERES ALLUVIALES ORIGINAIRES DES VOSGES GRESEUSES, PARCOURANT LES COLLINES MARNO-CALCAIRES ET LOESSIQUES**

2.3.5.1. METHODOLOGIE

Par cette **CAH**, nous cherchons 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 ne prend en compte, parmi les 31 sites inclus dans ce groupe, que ceux qui concernent les cours d'eau parcourant successivement les Vosges gréseuses et les collines marno-calcaires et loessiques. Les trois sites Rau Champenay², Seltzbach² et Eberbach⁷ ont donc été retirés de l'analyse. Les 28 sites pris en compte sont alors : Moder²⁻⁸, Zorn⁵⁻¹⁰, Mosselbach¹⁻², Zinsel²⁻⁷, Sauer¹⁻⁴, Mossig⁵ et Mossig⁷⁻⁸. Les variables utilisées pour cette analyse sont les 5 variables les plus discriminantes pour cet ensemble de sites. Il s'agit :

- du rapport d'encaissement ;
- de la pente ;
- du rapport largeur/profondeur ;
- du pourcentage de berges sapées ;
- de l'indice de mobilité pondéré (I_m).

Le tableau de données contient ainsi 28 lignes et 5 colonnes. Les variables ont été normalisées, les mesures de distance sont euclidiennes et les distances entre les groupes ont été réalisées d'après leurs moyennes.

2.3.5.2. RESULTATS ET INTERPRETATION

Le dendrogramme de la figure 34 montre que, excepté quelques sites particuliers, les sites pris en compte s'agglomèrent bien en deux ensembles interprétables respectivement comme les rivières alluviales des Vosges gréseuses, et les rivières alluviales originaires des Vosges gréseuses parcourant les collines marno-calcaires et loessiques. Parmi ces deux ensembles, trois sites sont mal classés : les sites Zinsel⁶ (N°17), Sauer³ (N°22) et Zorn⁶ (N°14), mais ces mauvais classements ne remettent pas en question le résultat global de la **CAH**. Par ailleurs, les sites Moder², Zinsel², Mossig⁵ et Zorn⁵ (respectivement numérotés 3, 9, 26 et 13) sont isolés en raison de leur pente et puissance spécifique particulièrement élevées (moyennes respectives de 6.5 ‰ et de 30 W.m⁻²). D'autre part, il est possible de rattacher grossièrement le regroupement des sites numérotés 10, 16 et 27 (respectivement Zinsel³, Moder⁸ et Mossig⁷) à l'ensemble des rivières des collines marno-calcaires et loessiques, bien que le site Zinsel³ n'en fasse pas partie.

Voici la comparaison des caractéristiques du premier ensemble par rapport à celles du second ensemble, ainsi que les explications que l'on peut en donner :

- un rapport d'encaissement plus de deux fois moins élevé, car les vallées des collines mammo-calcaires et loessiques sont nettement plus larges que celles des Vosges gréseuses ;
- une sinuosité plus faible, car les rivières des Vosges gréseuses ont parfois été rectifiées de longue date, et car les rivières du second ensemble transportent une charge sédimentaire plus fine (plus d'argiles et de **limons**) que les rivières des Vosges gréseuses (quasi-exclusivement du sable), d'où une sinuosité plus élevée (Schumm, 1963. 19851 :

2.3.6. TYPOLOGIE RESULTANTE

2.3.6.1. DENOMINATION ET CARACTERISATION DES TYPES ET SOUS-TYPES DE RIVIERES

La mise en commun des regroupements de sites obtenus à partir de l'interprétation des différents traitements statistiques ci-dessus permet de proposer, sur des bases statistiques objectives, la typologie hydro-géomorphologique des **COURS** d'eau du bassin français du **Rhin Supérieur** (tabl. 23). La dénomination des types et sous-types de cours d'eau, guidée par leur dynamique hydro-géomorphologique, est donnée dans le tableau 24. Le tableau 25 précise, qualitativement et quantitativement, leurs caractéristiques **hydro-géomorphologiques**.

Notons que les types A2 et B3 sont totalement formés par, respectivement, les ensembles de sous-types **A2a-A2b** et **B3a-B3b**. Pour cette raison, les types A2 et B3 ne sont pas caractérisés en tant que tel dans le tableau 25. Par contre, les types C1 et C2 contiennent chacun un seul sous-type, respectivement C1a et C2a. Ces derniers représentent chacun un sous-ensemble particulier de rivières des types qui les contiennent. Pour cette raison, le tableau 25 caractérise les deux types en question en excluant les sites des deux sous-types. Enfin, le type C' n'est pas représenté dans le tableau 25 car ce type n'a pas pu être clairement mis en évidence par nos analyses (voir aussi paragraphe 2.3.6.2.).

Tableau 23 : Classement des sites de mesure à l'issue de l'interprétation des analyses statistiques.

Types	Sous-types	Sites de mesure	Nombre de sites
A1		Doller1-3, Baerenbach1, Rau Alfeld1, Thur1-2, Erzenbach1-2, Seebach1, Fecht1-3, Petite Fecht1-4, Giessen1, Giessen Steige1, Liepvrete1-2, Andlaul, Andlau3, Bruchel-2, Hasell-2, Schmgouttel-2, Mossigl-2, Ruisseau Champenay1, Zorn1-3	35
	A2a	Doller4-6, Ruisseau d'Alfeld2, Thur34 Fecht4, Petite Fecht5, Giessen2-3, Giessen Steige2-3, Andlad, Andlau4, Bruche6, Bruche8-11, Hasel3, Mossig3-4, Mossig, Zorn4	24
	A2b	Seebach2, Andlau5, Bruche3-5, Bruche7, Hasel4	7
A3		iii7-8, Doller7-8, Thur5, Fechts, Giessen4-6, Liepvrete3-4, Bruche12-13, Andlau6	14
B1		Zinsel1, Moder1	2
B2		Ruisseau Champenay2, Moder2-7, Zinsel2-5, Zinsel8, Zorn5-7, Sauer1-2, Eberbach7	18
	B30	Eberbach5	1
	83b	Sauer5-6, Fawindiehlbach1-2, Eberbach6	5
C1		III2-5, Laguez-5, Lague8-9, Soultzbach1, Baerenbach2-3, Mosselbach1, Eberbach1, Seltzbach2	16
	CZO	Laguez-7	2
C2		1116, Soultzbach2, Mossig7-8, Mosseibach2, Konoacht, Memach1-4, seitzbach1, Hausauerbach1	11
	C2a	Mossig5, Mwem, Zinsel6-7, Zorn8-10, Sauer3-4	9
C'		1111, Lague1	2
D1		1119-10, Giessen7, Andlau7-9	6
D2		Moder9, Sauer7	2
D3		Seebachzb, Bornenl-3, Bmnwasser2-3, Lutter3, Schiffwasser1, Orchbachi, Scheerl-2, Zenibsl-2	13
D4		Bmnwasser1, Fallgraben1, Ischertl-5, Lachterl-3, Laufgraben1-4, Lutteri-2, Tmlypben1-3, Vieil Ergelsenbach1	20
TOTAL :			187

Tableau 24 : Dénomination des types et sous-types de rivières.

Type	Sous-type	Sites de mesure
COURS D'EAU DES VOSGES CRISTALLINES (et des Hautes Vosges gréseuses)		
A1		Torrents montagneux des Vosges cristallines et des Hautes Vosges gréseuses (<i>sous-type A1</i>)
A2		Cours d'eau alluviaux intra-montagnards des Vosges cristallines
	A2a	Cours d'eau alluviaux intra-montagnards à énergie élevée et à dynamique limitée des Vosges cristallines et des Hautes Vosges gréseuses (<i>sous-type A2a</i>)
	A2b	Cours d'eau alluviaux intra-montagnards à dynamique modérée des Vosges cristallines
A3		Cours d'eau alluviaux du piémont des Vosges cristallines à dynamique très active
COURS D'EAU DES BASSES VOSGES GRÉSEUSES		
B1		Cours d'eau de tête de bassin à fond de vallée en « V » ou colluvial des Basses Vosges gréseuses
B2		Cours d'eau alluviaux intra-montagnards des Vosges gréseuses à énergie faible
B3		Cours d'eau des terrasses sableuses pliocènes du Nord de l'Alsace
	B3a	Cours d'eau non incisés des terrasses sableuses pliocènes du Nord de l'Alsace
	B3b	Cours d'eau incisés des terrasses sableuses pliocènes du Nord de l'Alsace
COURS D'EAU DES PLATEAUX ET COLLINES MARNO-CALCAIRES ET LOESSIQUES		
CI		Cours d'eau à dynamique modérée et à granulométrie moyenne des plateaux et collines marno-calcaires et loessiques
	C1a	Cours d'eau à dynamique très active des plateaux et collines marno-calcaires et loessiques (cours d'eau affectés par des mouvements néo-tectoniques importants)
C2		Cours d'eau à dynamique modérée et à granulométrie faible des plateaux et collines marno-calcaires et loessiques
	C2a	Cours d'eau originaires des Vosges gréseuses, parcourant les collines et plateaux marno-calcaires et loessiques du Nord de l'Alsace
C'		Cours d'eau de côtes calcaires et marno-calcaires
COURS D'EAU DE LA PLAINE RHÉNANE		
D1		Cours d'eau allochtones de la zone médiane de la plaine rhénane, à dynamique modérée
D2		Cours d'eau allochtones de la plaine rhénane septentrionale, à dynamique faible, parcourant des paléo-chenaux rhénans
D3		Défluent et paléo-défluent ellans, à dynamique modérée
D4		Paléo-défluent ello-rhénans, à dynamique faible ou nulle
D5		Défluent rhénans sub-actuels (pour mémoire)

Tableau 25 : Caractéristiques hydro-géomorphologiques des types et sous-types de rivières de la zone d'étude.

Variables * Types		A1	A2a	A2b	A3	B1	B2	B3a ^(B3a+b)	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		●	●	●				●	●							
	Encais terrassé								●		●		●				
	Plaine rhénane													●	●	●	●
Style fluvial		Rectiligne	Sinuosité faible	Méandres	Méandres divag., tresses	Rectiligne	Méandres	Méandres	Méandres	Méandres	Méandres divagants	Méandres	Méandres	+ sinués, méandres	Paléo-méand. rhéans	Anastomoses, paléo-amasto.	Paléo-anastom.
Régime hydrologi.		Océanique															
		Nivo-glaci.															
Alimentation hydrolog.																	
Débordements - inondations			●	●	●			●	●	●	●	●	●	Alloch/ alim ^o phréatique	Alloch/ alim ^o phréatique	Pic crus/alim ^o phréat/pries	Alim ^o phréat/pries
Echan. nappe- Riv. → nappe			● ?	● ?	●												
Riv dominants							● ?	●	●	● ?	● ?	● ?	● ?	Sud 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	● ss-type A1	● ss-type A2a		●	●	●	●								
		Argilo-limon.								●							
		Nulle															
Evolution morphodyna		Stable	●	●		●											
		Contra ^o envas ^t															
		Exhaussem ^t															
		Incision															
		Dépla ^o latér.		●	●		●	●	●	●	●	●	●	●		●	●
Puiss. spécifique (W.m ²)		387 (1.9)	92 (0.8)	42 (1.3)	48 (0.2)	57	7 (1.2)	1	5 (0.6)	24 (0.4)	61	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	1.5 (0.7)	1.8 (1.2)	0.8 (0.5)	0.3	0.9 (0.9)	0.7 (0.3)
Rapport d'encastement		4.1 (1.8)	21 (0.6)	59 (0.7)	20.5 (0.9)	2.8	25 (0.9)	204	12.5 (0.1)	34 (0.6)	2.6	44 (0.6)	47 (0.6)	336 (0.5)	314	429 (0.7)	807 (0.4)
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	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	6.1 (0.4)	8.0 (0.2)	13.7 (0.4)	24.7 ^{gr} faible	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	13 (1.6)	27 (0.8)	24 (0.3)	20	17 (0.7)	4 vase fréq.
Tri sédi ^{ts} fd lit (coef. varia ^o)		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	0.3 (0.3)	0.6 (0.4)	0.5 (0.1)	0.5	0.4 (0.6)	0.1 vase fr
Ind. mobilité pondéré I _m		6 (1.6)	27 (0.6)	30 (0.8)	73 (0.4)	12	14 (1.2)	15	31 (0.3)	44 (0.2)	46	18 (0.7)	22 (0.5)	25 (0.5)	1	14 (1.3)	0.0
Ind. mobilité Pflankuch		50 (0.2)	51 (0.2)	56 (0.2)	72 (0.1)	61	60 (0.1)	52	72 (0.1)	63 (0.1)	75	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	3 (1.6)	17 (0.8)	27 (0.3)	8	20 (0.9)	0.4 (4.5)
% de berges sapées		8 (1.3)	17 (0.8)	13 (0.9)	26 (0.5)	17	10 (1.2)	23	28 (0.2)	51 (0.3)	30	32 (0.8)	31 (0.6)	16 (0.7)	1	21 (1.3)	0.0
% rives occupées bancs		3 (2.5)	13 (0.8)	15 (1.1)	40 (0.5)	3	6 (1.3)	2	12 (0.5)	12 (0.5)	21	2 (1.4)	5 (1.1)	2 (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)]

3.6.2. APPRECIATION DE LA VARIABILITE ET REMARQUES CONCERNANT QUELQUES

TIC CLASSES ET TYPES ET SOUS-TYPES DE RIVIERES

> **A1 :** rivières de Vosges cristallines et des Hautes Vosges

Comme le montrent les coefficients de variation de certaines variables, ce type présente une variabilité relativement importante, notamment en raison de la pente comprise dans une gamme relativement étendue (de 25 à 400 %).

> **A2a :** Cours d'eau alluviaux à énergie élevée et à dynamique limitée des Vosges et des Hautes Vosges

Globalement, ce type est relativement homogène.

> **A2b :** Cours d'eau alluviaux intra-montagnards à dynamique modérée des Vosges cristallines

Ce type est également relativement homogène dans l'ensemble. Notons toutefois que les sites Ruisseau d'Alfeld² et Seebach² ont la particularité d'être localisés dans la partie amont, c'est-à-dire des zones de dépôt de la charge de fond, de tourbières d'origine glaciaire de fonds de vallée des Vosges cristallines : respectivement les tourbières du lac de Sewen et du See d'Urbeis. Ces tourbières sont limitées en aval par d'importantes moraines frontales. Ces secteurs de cours d'eau sont donc très particuliers et nécessitent une gestion très rigoureuse. Cela semble d'ailleurs être le cas puisque les deux tourbières en question font l'objet de mesures de protection du milieu naturel.

Notons que, parallèlement à ces secteurs de cours d'eau, les zones amont de ces deux tourbières présentent d'autres lits fluviaux très particuliers :

- en amont du See d'Urbeis, un ancien lit du Seebach actuellement exclusivement alimenté par la nappe phréatique locale (site Seebach²b). Ce lit a été classé par les analyses statistiques de la partie 3 dans le type **D4** des «paléo-défluent ello-rhénans, à dynamique faible ou nulle» en raison de son fonctionnement hydrologique et de sa très faible dynamique. Cependant, il est clair que cette rivière est très singulière et que son classement dans ce groupe n'est pas satisfaisant en raison de sa position hors de la plaine rhénane ;
- en amont du Lac de Sewen, un réseau assez développé de défluent actuels du Ruisseau d'Alfeld (à connexion hydrologique amont pérenne), dont la morphologie est nettement influencée par de nombreux barrages de castors (*Castor fiber*) : forte diminution de la pente de la ligne d'eau, tendance au dépôt dans la partie aval de chaque « bief », dynamique latérale très faible...

Ces chenaux des zones amont des tourbières de fond de vallée des Vosges cristallines devraient donc former un sous-type additionnel de cours d'eau de tourbières ou, plus largement, de zones tourbeuses. Ce sous-type pourrait également contenir le Moesbaechel cité plus bas.

➤ **A3 : Cours d'eau alluviaux du piémont des Vosges cristallines à dynamique très active**

Comme nous l'avons déjà indiqué précédemment, ce type est assez homogène dans l'ensemble. Notons que les résultats présentés précédemment montrent que ce type peut Concerner, outre les zones de piémont, quelques secteurs intra-montagnards de certaines rivières des Vosges cristallines (Giessen4-5, Liepvrette3-4).

* **B1 : Cours d'eau de tête de bassin à fond de vallée en « V » ou colluvial des Basses Vosges &euses**

Il est difficile de caractériser la variabilité de ce type puisqu'il ne contient que deux sites. Notons qu'elle nous paraît, d'après le travail d'inspection de terrain effectué pour localiser les sites, relativement faible.

➤ **B2 : Cours d'eau alluviaux intra-montagnards des Vosges gréseuses à énergie faible et à dynamique faible ou modérée**

La variabilité de ce type est globalement élevée, du fait notamment que la dynamique des lits de ce type peut être plus ou moins active et que certains sites peuvent être fortement ensablés, alors que d'autres ne le sont pas. Notons qu'une récente visite de terrain nous a montré l'existence de lits tourbeux de fonds de vallée plats dans les Vosges gréseuses (par exemple le Moosbaechel, un affluent de rive droite de la Moder). Le lit est alors très étroit (rapport largeur/profondeur de l'ordre de 3), sinueux, peu dynamique et le transport de sable y est très faible. Comme nous l'avons évoqué plus haut, cette rivière pourrait éventuellement aussi être classée dans un sous-type à créer de lits de zones tourbeuses.

➤ **B3 : Cours d'eau des terrasses sableuses pliocènes du Nord de l'Alsace**

Notons que nous entendons par cette dénomination les murs d'eau des tenasses de la Forêt de Haguenau et du Bienwald (Lauter). Nous en excluons les cours d'eau du cône sableux quaternaire de la Zorn dont le réseau hydrographique est très peu développé.

➤ **B3a : Cours d'eau non incisés des terrasses sableuses pliocènes du Nord de l'Alsace**

Il est impossible de préciser la variabilité de ce type puisqu'il ne contient qu'un seul site. Il semble toutefois qu'elle soit très faible, compte tenu de nos observations qualitatives de terrain.

➤ **B3b : Cours d'eau incisés des terrasses sableuses pliocènes du Nord de l'Alsace**

Ce type est très homogène. L'incision des lits peut toutefois être plus ou moins importante : elle peut être très marquée, comme pour les sites Eterbach6, Halbmuehlbach1-2, SauerS-6, ou être moins perceptible, comme pour les sites Zinsel8 et Seltzbach2.

➤ **C1 : Cours d'eau à dynamique modérée et à granulométrie moyenne des plateaux et collines marno-calcaires et loessiques**

Comme le montrent les valeurs des coefficients de variation du tableau 25, ce type est globalement très homogène.

➤ **C1a : Cours d'eau des plateaux et collines marno-calcaires et loessiques B dynamique très active** (néo-tectonique)

Il est difficile de caractériser la variabilité de ce sous-type puisqu'il ne contient que deux sites. Soulignons qu'il nous paraît important d'individualiser ce sous-type qui est très différent des autres cours d'eau des collines et plateaux marno-calcaires et loessiques du fait de la dynamique très active du tronçon de cours d'eau qu'il représente. D'autres cours d'eau de cette unité naturelle seraient également très dynamiques, compte tenu de l'importante activité néo-tectonique du Sundgau (Giamboni, communication orale), et pourraient être classés dans ce sous-type.

➤ **C2 : Cours d'eau à dynamique modérée et à granulométrie faible des plateaux et collines marno-calcaires et loessiques**

La variabilité de ce type est, comme celle du type C1, **très** faible.

➤ **C2a: Cours d'eau originaires des Vosges gréseuses, parcourant les collines et plateaux marno-calcaires et loessiques du Nord de l'Alsace**

Ce sous-type est globalement très homogène.

➤ **C' : Cours d'eau de côtes calcaires et marno-calcaires**

Le relief de côtes calcaires et marno-calcaires est très peu étendu en Alsace. **De** ce fait, nous n'avons pu localiser que deux sites de mesure dans cette unité naturelle (III, Larguel). De plus, ce sites ne Concernent que des lits de petite dimension (largeur de 3-4 m). Dans ces conditions, il n'est pas surprenant que les analyses statistiques n'aient pas individualisé ce type. Il pourrait éventuellement être caractérisé et individualisé plus nettement sur l'ensemble du bassin Rhin-Meuse. **Notons** toutefois qu'il semble que les cours d'eau de ce type présentent certaines similitudes avec les cours d'eau du type C1 de «Cours d'eau à dynamique modérée et à granulométrie moyenne des plateaux et collines marno-calcaires et loessiques» : énergie faible, dynamique modérée...

➤ **Cours d'eau de la plaine rhénane**

La variabilité des types de **cours d'eau** de la plaine rhénane proprement dite est précisée dans la partie consacrée à la typologie spécifique des cours d'eau de la plaine rhénane (cf. parag. **2.3.1.5.2.**).

2.4. ETAPE 3 : DU SITE AU LINEAIRE FLUVIATILE

Pour passer des sites de mesure aux linéaires fluviaux, nous proposons de sectoriser les cours d'eau pour, **dans** un second temps, classer chaque tronçon dans une classe de cours d'eau définie à partir des traitements statistiques.

2.4.1. PRESENTATION DE L'APPROCHE FONDÉE SUR LA SPATIALISATION DE LA PUISSANCE SPECIFIQUE

Nous **présentons** tout d'abord une méthode de sectorisation fondée **sur** la variation longitudinale de la puissance spécifique, l'évolution longitudinale de la morphologie du fond de vallée, la succession d'unités naturelles parcourues par le cours d'eau.

Comme cette méthode demande **un** travail relativement conséquent (environ deux jours par rivière), incompatible avec l'échéance de la présente convention, nous ne la présentons ici que comme exemple méthodologique. L'application de cette méthode sur d'autres cours d'eau du bassin Rhin-Meuse pourrait être envisagée ultérieurement, après en avoir testé l'intérêt sur des cours d'eau de différentes régions naturelles.

2.4.1.1. METHODOLOGIE

Cette approche est adaptée des travaux de Bernot et al. (1996), Bernot et Creuzé des Châtelliers (1998) et Astrade et Bravard (1999) qui consistent 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 conduire, **dans** un second temps, à une typologie (Bernot et Creuzé des Châtelliers, 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 :

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

(Leopold et al., 1964 ; Bagnold, 1966), où ρ 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), et que l'on assimilera au débit de crue de durée de retour 1,5 ans (Leopold et al., 1964). **A** notre échelle de travail, ceci nous semble constituer une méthode d'estimation

¹⁹ 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.

acceptable, bien que la réalité de terrain puisse être nettement plus complexe (Petit et Pauquet, 1997).

Comme les rivières sélectionnées ne disposent généralement pas d'un profil en long nivelé de leur source à leur confluence, on établit celui de son corridor fluvial à partir des cartes topographiques au 1/25 000. La prise en compte de la sinuosité est en effet malaisée à cette échelle en raison de la faible dimension des méandres de la plupart des rivières étudiées. La pente du corridor fluvial de chaque tronçon est accessible par lecture du profil en long. Parallèlement, l'axe du corridor fluvial est cartographié et les tronçons élémentaires sont localisés avec ArcView à partir du réseau hydrographique de la BD Carthage. Chaque unité élémentaire constitue donc un tronçon de 500 m de corridor fluvial, et non de lit mineur. La sinuosité de chacun d'entre eux peut alors être calculée en mesurant la longueur de thalweg correspondante grâce à la fonction d'agrandissement d'ArcView. Le rapport de la pente du corridor fluvial à la sinuosité donne par ce biais une bonne estimation de la pente moyenne de la ligne d'eau.

Le débit de crue de durée de retour 1,5 ans Q_b est estimé à l'entrée de chaque tronçon à partir de la formule donnée par le Ministère de l'Agriculture (1980) :

$$Q_b = Q_{1,5} (a/A)^{0,8} \quad (2)$$

où $Q_{1,5}$ est le débit de crue d'occurrence 1,5 ans de la station hydrométrique la plus proche située en aval, et où a et A sont respectivement la superficie du bassin en amont du tronçon élémentaire considéré et en amont de la station hydrométrique. Cette procédure convient pour des cours d'eau dont la superficie ne dépasse pas 2.000 km² (Bravard et Petit, 1997). Ceci est le cas des cours d'eau étudiés, honnis le tiers aval de l'Ille nous semble toutefois acceptable de tolérer cette exception. La superficie du bassin en amont de chaque tronçon est estimée dans ArcView à partir d'un fond de carte en courbes de niveau équidistantes de 20 m. Les données de la BD Carthage permettent par ailleurs de vérifier et de caler les surfaces de bassin mesurées. Notons que nous avons cherché à estimer automatiquement la surface des bassins à partir du logiciel GRASS et d'un MNT²⁰. Cette méthode n'a toutefois pas été retenue car elle n'offre un intérêt que dans les zones montagneuses et donne des résultats erronés dans les zones de piémont et de plaine.

La largeur du lit mineur à pleins bords est estimée pour chaque tronçon grâce à l'équation, adaptée aux rivières alluviales, de Leopold et Maddock (1953), après calage avec les données de largeur acquises sur le terrain :

$$w = aQ_b^{0,5} \quad (3)$$

où a est un coefficient pouvant varier pour des rivières alluviales gaveuses entre 2,34 et 4,33 en fonction du type de végétation riveraine (Hey et Thome, 1986). Il dépend bien entendu aussi, dans notre cas, de la texture des sédiments constitutifs des berges (Schumm, 1960 ; 1977). Ce coefficient peut donc varier dans une gamme légèrement plus étendue que celle indiquée par Hey et Thome (1986).

²⁰ Grâce au concours de M. Wünz (ENGEES)

2.4.1.2. RESULTATS : L'EXEMPLE DE L'EBERBACH

Il est possible d'illustrer l'intérêt de cette approche 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 de 187 km².

Cette rivière parcourt successivement trois unités naturelles : une zone de collines marno-calcaires et loessiques, la terrasse de la Forêt de Haguenau et la plaine rhénane. De plus, le fond de vallée de la zone de collines marno-calcaires et loessiques peut être subdivisé en une partie amont, étroite et colluviale, et une partie aval, évasée et alluviale (Fig. 35). L'évolution longitudinale de la puissance spécifique traduit fidèlement cette séquence de quatre unités hydrographiques, 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. Ceci s'explique essentiellement par une brusque accentuation de la pente dans ce secteur, induite par les mouvements néo-tectoniques précédemment cités. Ce jeu de néo-tectonique est à l'origine d'une importante incision régressive qui explique l'augmentation de la pente, et donc de la puissance spécifique, dans le secteur incisé. Les mesures de terrain sur les sites de mesure confirment cette augmentation de l'énergie : 1 W.m² en amont de l'incision et 7 W.m² dans le secteur affecté par l'incision. Il résulte de l'augmentation de l'énergie sur ce linéaire fluvial une accélération des déplacements latéraux estimés par étude diachronique de cartes entre 1885 et 1990. Par ailleurs, l'encaissement de la rivière dans ce secteur, qui peut atteindre jusqu'à 8 m, explique un important drainage de la nappe alluviale locale, ce qui induit un fonctionnement hydrodynamique également différencié (Gresse, 2000 ; cf. supra). En conséquence, comme le montre la figure 35, l'Eberbach peut être sectorisé, sur des bases objectives, morphologiques et hydrologiques, en cinq secteurs homogènes (tableau 25) :

- le secteur non-alluvial des collines marno-calcaires et loessiques (W proche de 13 W.m⁻²) – type C1 ;
- le secteur alluvial des collines marno-calcaires et loessiques (W généralement compris entre 5 et 10 W.m⁻²) – type C2 ;
- le secteur non incisé du cône sableux (W généralement inférieur à 3 W.m⁻²) – type B3a ;
- le secteur incisé du cône sableux (W proche de 10 W.m⁻², mais pouvant dépasser 20 W.m⁻²) – type B3b ;
- le secteur de la plaine rhénane (W quasi-constant à 3 W.m⁻²) – type D2.

Tableau 26 : Valeurs de quelques variables des Cinq secteurs de l'Eberbach, estimées sur les sites de mesure. Les valeurs du deuxième secteur sont les moyennes des trois sites qu'il contient.

	Puissance spécifique (W.m ⁻²)	Sinuité	Rapport W/D	Charge solide dominante	Granulométrie moyenne (mm)	Ind. de mobi. pondéré	Ind. de rabi. par ét. diachro.
Secteur a.	34	1.32	7.7	Sables	49	29.5	2
Secteur b.	10	1.50	5.0	Argiles, limons	4.5	14.3	2.3
Secteur c.	1	1.70	4	Sables	16	14.8	3
Secteur d.	7	1.65	8.7	sables	19	26.6	4
Secteur e.	1	1.21	8.8	sabls	22	20.0	2

Notons que l'on peut légèrement nuancer la localisation de la limite entre les secteurs c. et d. En effet, Gresse (2000), Carozza et Messoussi (communication orale) soulignent l'existence d'une rupture de pente secondaire, probablement également d'origine néotectonique et liée à une seconde faille, (J.M. Carozza, L. Messoussi, comm. orale), localisée à environ 2 km en amont de la rupture de pente principale. À l'aval de cette seconde rupture de pente, l'Eberbach présente déjà un lit majeur sensiblement encaissé (Gresse, 2000), ainsi qu'une faible recrudescence de la puissance spécifique (fig. 35).

2.4.2 PRESENTATION ET RESULTATS DE LA METHODE REPOSANT 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 choisi de raisonner à partir des profils en long des corridors fluviaux, c'est-à-dire à partir des variations longitudinales de la pente. Les critères de sectorisation sont donc :

- les variations de pente du corridor fluvial ;
- l'évolution longitudinale de la morphologie du fond de vallée ;
- la succession d'unités naturelles parcourues par le cours d'eau.

Comme précédemment, chaque tronçon homogène est classé dans l'un des types de cours d'eau grâce au classement des sites de mesure. Le résultat des sectorisations et du classement de chaque tronçon est détaillé dans l'annexe 4.

Notons qu'au cours des sectorisations, il est apparu nécessaire de re-classer quelques sites. Le classement définitif est présenté dans le tableau 27, lequel est suivi par la justification de ces re-classements de sites.

Le classement définitif des sites de mesure est donné dans la figure 36, alors que la carte de la typologie définitive est donnée dans la figure 37.

Précisons également que la Moder, dans sa traversée de la Forêt de Haguenau, est classée dans B3a car le lit mineur de cette rivière ne semble pas présenter d'incision actuelle. En effet, si cela était le cas, cette morphologie serait nettement perceptible (incision de plusieurs mètres, avec formation d'un néo-lit majeur encaissé) malgré la rectification de cette rivière dans ce secteur.

Figure 35 : 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).

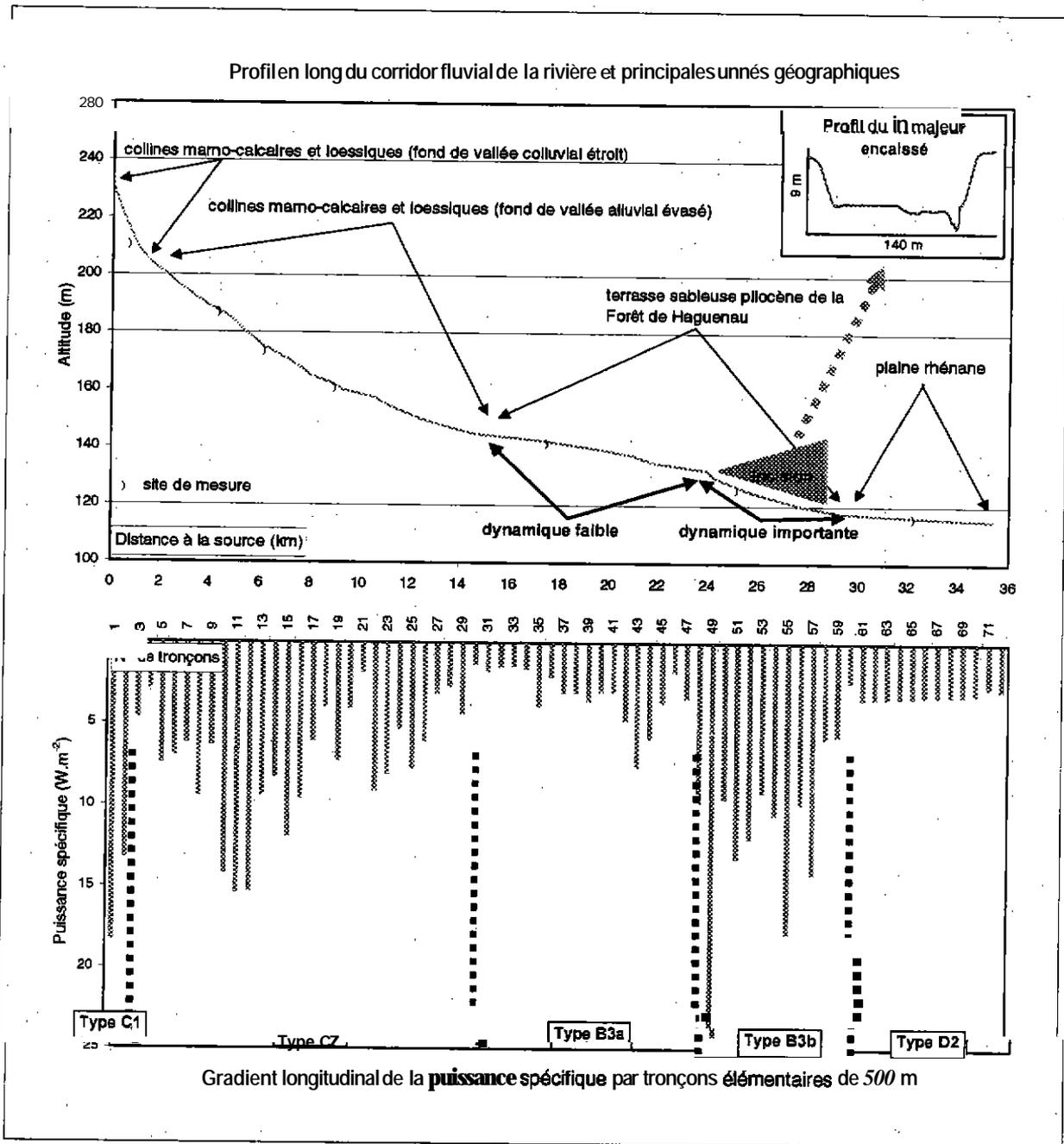


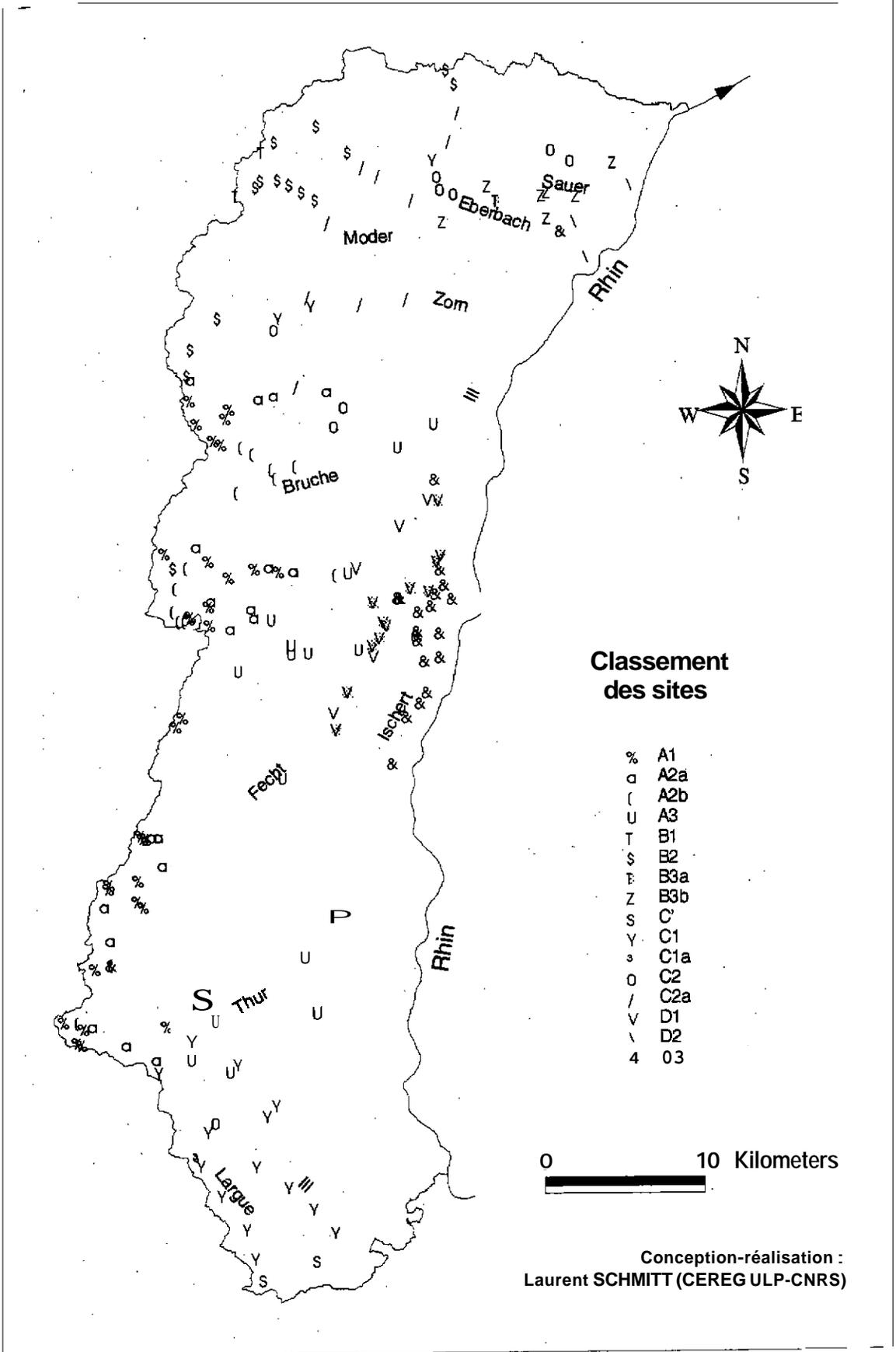
Tableau 27 : Classement définitif des sites de mesure à l'issue de la sectorisation des rivières. Les sites muignés ont été re-classés à l'issue de la sectorisation des rivières.

Types	Sous-types	Sites de mesure
A1		Doller1-3, Rau Alfeld1, Baerenbach1, Thurl-2, Erzenbach1-2, Seebach1, Fecht1-3, Petite Fecht1-3, Giessen1, LiepDvrettel-2, Giessen Steigel, Andlau1, Andlau3, Bruche1-2, Ruisseau Champenay1, Schirrgoutte1-2, Hasel1, Mossig1-2, Zorn1-3
	A2a	Doller4-6, Thur3-4, Fecht4, Petite Fecht4, Petite Fecht5, Giessen2-3, Giessen Steige2-3, Andlau2, Andlau4, Bruche8, Mossig3-4, Mossig6, Zorn4
	A2b	Ruisseau d'Alfeld2, Seebach2, Andlau5, Bruche3-5, <u>Bruche6</u> , <u>Bruche7</u> , <u>Bruche9-11</u> , Hasel2-3, Hasel4
A3		Ill7-8, Doller7-8, Thur5, Fecht5, Giessen4-6, Giessen7, Liepvrette3-4, Bruche12-13, Andlau6
B1		Zinsel1, Moder1
B2		Ruisseau Champenay2, Moder2-7, Zinsel2-4, Zorn5-7, Sauer1-2
	B3a	Eberbach5
	B3b	Zinsel8, Sauer5-6, Halbmuehlbach1-2, Eberbach6, Seltzbach2
C1		Ill2-5, Ill6, Largue2-5, Largue8-9, Soultzbach1, Baerenbach2-3, Mosselbach1, <u>Mosselbach2</u> , Eberbach1
	C1a	Largue6-7
C2		Soultzbach2, Mossig7-8, Kohbach1, Eberbach2-4, Seltzbach1, Hausauerbach1
	C2a	Mossig5, Moder8, Zinsel5, Zinsel6-7, Zorn8-10, Sauer3-4
C'		Ill1, Largue1
D1		Ill9-10, Andlau7-9
D2		Moder9, Sauer7, Eberbach7
D3		Bornen1-3, Bronnwasser2-3, Lutter3, Schiffwasser1, Orsbach1, Scheer1-2, Zembs1-2
D4		Seebach2b, Bronnwasser1, Fallgraben1, Ischert1-5, Lachter1-3, Laufgraben1-4, Lutter1-2, Trulygraben1-3, Vieil Ergelsenbach1

Justification du reclassement des sites soulignés :

- Ruisseau d'Alfeld2 est classé dans A2b car la granulométrie est relativement faible (46 mm) au niveau de ce site. ce qui permet une dynamique latérale perceptible. Ceci semble être le cas de tous les cours d'eau des secteurs amont des tourbières de fond de vallée d'origine glaciaire des Vosges cristallines (même cas de figure pour le site seebach2).
- Petite Fecht4 est classé dans A2a car la rupture de pente du profil en long de la Petite Fecht se situe entre les sites Petite Fecht3 et Petite Fecht4 et car le fond de vallée s'élargit très sensiblement en aval de cette rupture de pente.
- Giessen7 est classé dans A3 car ce site était sans doute très dynamique avant la rectification du Giessen dans ce secteur.
- Bruche6 est classé dans A2b car, même si le fond de vallée est plus étroit à ce niveau. ce site présente une dynamique notable nettement plus marquée que pour le site Bruche8 situé plus en aval et classé dans A2a
- Bruche9-11 sont classés dans A2b car, au niveau du secteur de la Bruche concerné par ces sites, la dynamique actuelle du lit est sensiblement limitée par de nombreux aménagements locaux.
- Hase12 et Hase13 sont classés dans A2b, comme Hase14, car la principale rupture de pente du profil en long de la Hase se situe entre Hase11 et Hase12 et car Hase12 et Hase13 présentent une dynamique notable, même si elle est plus faible que celle de Hase14.
- Zinsel5 est classé dans C2a car ce site se situe dans les collines mammo-calcaires et loessiques.
- Eberbach7 est classé dans D2. Ce site n'a vraisemblablement pas été classé statistiquement dans ce groupe en raison de sa forte artificialisation.
- Mosselbach2 est classé dans C1 car, après analyse des caractéristiques de ce site, il apparaît qu'il n'est pas justifié de différencier ce site du site Mosselbach1.
- Seltzbach2 est classé dans B3b car le Seltzbach s'incise dans la terrasse de la Forêt de Haguenau dans ce secteur. Ce site présente les caractéristiques des rivières de ce type.

Figure 36 : Carte du classement des sites de mesure.



2.4.3. COMPARAISON DES DEUX METHODES 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, certains 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 le 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.

2.4.4. SEQUENCES AMONT-AVAL DE TYPES DE RIVIERES DANS LES DIFFERENTES REGIONS NATURELLES

Les sectorisations effectuées permettent de dégager, pour chaque région naturelle du bassin français du Rhin Supérieur, des séquences amont-aval, spécifiques de types de cours d'eau, que l'on peut schématiser comme suit :

- **Vosges cristallines** : A1-A2a-(A2b)-A3-(D1) ;
- **Hautes Vosges gréseuses** : A1-A2a-B2-C2a-(D2) ;
- **Basses Vosges gréseuses** : B1-B2-C2a-(D2) ;
- **Collines et plateaux marno-calcaires et loessiques** : C1-(C2)-(B3a)-(B3b)-(D3) ;
- **Cours d'eau allochtones de la plaine rhénane** : D1-(D2) ;
- **Défluent et paléo-défluent de la plaine rhénane** : D3 ou D4, sans évolution vers l'aval, ou D4-D3.

3. MISE EN EVIDENCE DES ASPECTS STRUCTURANTS DE LA TYPOLOGIE HYDRO-GEOMORPHOLOGIQUE VIS-A-VIS DES BIOCENOSSES AQUATIQUES ET RIVERAINES

3.1. LES MACROPHYTES AQUATIQUES

La mise en place de systèmes de bio-indication de la qualité de l'eau par les macrophytes aquatiques a été possible dans la plaine rhénane et dans les Vosges gréseuses grâce à l'homogénéité de la minéralisation des eaux (essentiellement le pH et la conductivité) dans ces deux milieux respectifs (« même complexe roches-altérites-alluvions » ; Carbiener et al., 1995). Dans ces conditions, les échelles de bio-indication mises en place reflètent dans ces deux unités naturelles essentiellement le niveau trophique de l'eau (facteurs limitants: phosphates et ammoniac). Plus généralement, Carbiener et al. (1995) proposent la hiérarchie suivante des facteurs de contrôle de la distribution des macrophytes aquatiques :

- la minéralisation ;
- latrophie;
- l'ensemble rhéologie-sédimentologie-morphométrie.

Il apparaît donc, dès l'abord, que s'il existe une relation entre la distribution des macrophytes aquatiques et la typologie hydro-géomorphologique proposée, celle-ci reflètera peu l'activité morphodynamique des lits fluviaux, mais sera plutôt l'expression :

- du type d'unité naturelle drainée par le cours d'eau. Ceci concerne principalement les rivières parcourant successivement les Vosges gréseuses et les collines et plateaux marno-calcaires et loessiques du Nord de l'Alsace dont la minéralisation se modifie nettement au cours de ce changement d'unité naturelle drainée ;
- du fonctionnement hydrologique (en relation avec le niveau trophique), notamment en ce qui concerne les défluent et paléo-défluent de la plaine ello-rhénane (plus un défluent est connecté à un cours d'eau allochtone, plus son niveau trophique est a priori élevé).

3.1.1. LES RIVIERES DE LA PLAINE RHENANE

3.1.1.1. REMARQUES GENERALES CONCERNANT LA QUALITE DE L'EAU DES RIVIERES DE LA PLAINE RHENANE

En plaine rhénane, les caractéristiques minérales des eaux des rivières phréatiques sont les suivantes (Robach et al., 1996) :

- pH ~ 7.5 - 8 ;
- conductivité : > 500 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$;
- teneurs en matière organique très faibles.

L'échelle de bio-indication, définie à partir des communautés végétales, et non des espèces, comprend 6 classes (tabl. **28**). De manière générale, les groupements oligotrophes ne sont présents que dans les parties amont des cours d'eau car, même en l'absence de pollutions anthropiques ou d'apports de cours d'eau allochtoneq, le niveau trophique des cours d'eau tend à augmenter vers l'aval en raison des apports naturels de nutriments (décomposition des feuilles mortes...). Toutefois, il est possible que le niveau trophique baisse vers l'aval sur un secteur donné en raison de l'absorption des sels minéraux biogènes par les macrophytes, de leur fixation par les sédiments et d'un effet de dilution lorsque les apports souterrains locaux par des sources limnocènes sont importants, comme cela a été par exemple montré sur la Lutter et le Bronnwasser (Klein et Carbiener, 1988 ; cf. *infra*).

Tableau 28 : Echelle de bio-indication phytosociologique basée sur la fréquence et l'occurrence des espèces dans chaque communauté végétale des cours d'eau de la plaine rhénane (V 75-100%, IV 50-75%, III 25-50%, II 10-25%) et variables physiques et chimiques (moyenne et écart type).

Abbr.	association (n)	A(9)	B(11)	C(15)	D(17)	E(20)	F(16)
Poc	Potamogeton coloratus	VI(2)	-	-	-	-	-
Bat	Batrachospermum monoliforme	II(1)	-	-	-	-	-
Jsu	Juncus subnodulosus fo. subm.	I(+)	-	-	-	-	-
Cvu	Chara vulgaris	II(+)	-	-	-	-	-
Chi	Chara hispida	II(+)	-	I(2)	-	-	-
Lam	Lamprocystis roseo persicina	II(+)	-	I(3)	I(+)	-	-
Ber	Berula erecta (Sium erectum)	VI(2)	V(4)	V(2)	III(1)	III(1)	I(+)
Cob	Callitriche obtusangula	I(+)	III(+)	V(2)	V(2)	IV(1)	III(+)
Ltr	Lemna trisulca	-	I(1)	III(1)	III(1)	II(1)	-
Fn	Fontinalis antipyretica	-	I(+)	I(1)	II(1)	II(+)	-
Elc	Elodea canadensis	-	-	IV(1)	III(1)	II(1)	I(+)
Sem	Sparganium emersum	-	-	II(+)	II(1)	II(+)	IV(1)
Lmi	Lemna minor	-	-	II(1)	III(1)	V(2)	V(1)
Pfr	Potamogeton friesii	-	-	II(+)	II(1)	II(1)	II(1)
Ein	Elodea nuttallii	-	-	I(2)	II(2)	IV(2)	IV(1)
Rci	Ranunculus circinarius	-	-	I(+)	-	-	-
Nas	Nasurtium officinale	-	-	-	V(1)	III(+)	I(+)
Spi	Spirodela polyrrhiza	-	-	-	I(1)	II(1)	IV(1)
Azo	Azolla filliculoides	-	-	-	I(1)	I(1)	III(1)
Pde	Croenlandia densa	-	-	-	II(1)	II(1)	-
Pcr	Potamogeton crispus	-	-	-	III(1)	II(1)	I(2)
Myv	Mynophyllum verticillatum	-	-	-	I(1)	I(+)	-
Zan	Zannichellia palustris	-	-	-	II(1)	II(1)	-
Hot	Hortonia palustris	-	-	-	I(1)	-	-
Hip	Hippuris vulgaris	-	-	-	I(1)	-	-
Ppe	Potamogeton pectinatus	-	-	-	II(1)	IV(3)	IV(1)
Mys	Mynophyllum spicatum	-	-	-	II(1)	IV(1)	V(1)
Ppr	Potamogeton perfoliatus	-	-	-	I(+)	I(2)	III(1)
Cde	Ceratophyllum demersum	-	-	-	I(+)	V(2)	V(1)
Efi	Oenanthe fluviatilis	-	-	-	-	I(r)	-
Rtr	Ranunculus trichophyllus	-	-	-	-	I(+)	-
Ppu	Potamogeton pusillus	-	-	-	-	I(+)	-
Rfi	Ranunculus fluitans	-	-	-	-	II(2)	III(+)
Plu	Potamogeton lucens	-	-	-	-	-	III(1)
Pno	Potamogeton nodosus	-	-	-	-	-	III(2)
Maq	Mentha aquatica fo. subm.	I(r)	I(+)	I(1)	I(+)	I(1)	-
Vaq	Veronica anagallis aq.	I(+)	-	I(+)	I(+)	II(+)	-
Msc	Myosotis scorpioides	I(r)	-	I(1)	II(+)	II(+)	-
Vbe	Veronica beccabunga	-	-	-	I(+)	I(+)	I(+)
		mean (std)	mean (std)	mean (std)	mean (std)	mean (std)	mean (std)
	pH	7.4 (0.1)	7.5 (0.2)	7.5 (0.1)	7.6 (0.2)	7.9 (0.2)	7.9 (0.2)
	Conductivity	608 (115)	736 (112)	740 (99)	657 (66)	657 (63)	508 (52)
	Hardness (meq.l ⁻¹)	4.8 (1.4)	4.7 (0.9)	5 (0.7)	3.9 (0.4)	3.8 (0.5)	3.2 (0.3)
	N-NH ₄ ⁺ (µg/l)	13.7 (7.3)	22.2 (13.8)	45.3 (27.8)	33.8 (31.3)	61.2 (40)	255 (107)
	P-PO ₄ ³⁻ (µg/l)	7.2 (1.7)	13 (5.5)	14.9 (6.8)	29.4 (23.6)	39.9 (33)	191.5 (116)
	N-NO ₃ ⁻ (mg/l)	5.5 (1.4)	5.1 (1.8)	4.7 (2.1)	2.9 (2.5)	1.6 (1.1)	2.5 (0.9)

3.1.1.2. RELATIONS ENTRE TYPOLOGIE HYDRO-GEOMORPHOLOGIQUE ET COMMUNAUTES VEGETALES

(Carbiener, 1983a ; Carbiener, 1983b ; Eglin et al., 1992 ; Tourelle Vercier, 1992 ; Trémolières et al., 1993 ; Trémolières et al., 1994a ; Trémolières et al., 1994b ; Carbiener et al., 1995 ; Robach et al., 1996 ; Schnitzler et al., 1996 ; Debold, 1997 ; Klein et al., 1997 ; Gueidan, 2000)

Comme nous l'avons évoqué, il semble ne pas exister de lien direct entre la morphodynamique des cours d'eau de la plaine rhénane et la distribution des phytocénoses aquatiques. De fait, les liens existant entre la typologie hydro-géomorphologique et l'échelle de bio-indication phytosociologique de la plaine rhénane traduisent essentiellement le fonctionnement hydrologique des cours d'eau, notamment leur mode d'alimentation : les apports superficiels sont généralement eutrophes à hypertrophes, alors que les apports souterrains sont oligotrophes à mésotrophes, mais peuvent être eutrophes à proximité du Rhin pour les défluent sub-actuels rhénans du type ⑥ («filtrats rhénans»). Ces liens sont explicités ci-dessous et synthétisés dans le tableau 29.

3.1.1.2.1 LES RIVIERES ALLOCTONES DU PIEMONT DES VOSGES MERIDIONALES ET MOYENNES, A DYNAMIQUE LATERALE IMPORTANTE (TYPE A3)

Il n'est pas possible de mettre en évidence un lien entre ce type de rivière et l'échelle de bio-indication en raison de l'abondance relativement faible des macrophytes dans ces rivières (excepté sur certaines rivières du versant lorrain des Vosges cristallines ; Moselle amont ; Thiebaut, communication orale), ce qui est probablement lié à l'importante énergie des crues des cours d'eau des Vosges cristallines (Thiebaut, communication orale). Il semble donc que nous nous trouvions ici dans un cas limite où l'activité morphodynamique des chenaux joue un rôle plus important que la minéralisation et le niveau trophique, en l'occurrence en limitant très fortement l'implantation de macrophytes aquatiques. On note toutefois la présence occasionnelle de renoncules (*Rununculus fluitans* ou *pelutius* ?) sur les seuils naturels, car cette espèce est bien adaptée aux faciès d'écoulement de ce type (Large et al., 1993). Par ailleurs, ces cours d'eau ne présentent pas la même minéralisation de l'eau que ceux de la plaine rhénane proprement dite car la nature du substrat géologique de l'aire drainée est totalement différente. La condition d'homogénéité géohydrochimique n'étant donc pas assurée, une comparaison avec les résultats de la plaine rhénane proprement dite serait délicate.

3.1.1.2.2 LES RIVERES ALLOCTONES DE LA ZONE MEDIANE, A DYNAMIQUE MODEREE (TYPE D1) ET LES RIVERES ALLOCTONES DE LA PLANE RHENANE SEPTENTRIONALE, A DYNAMIQUE FAIBLE (TYPE D2)

Comme les rivières de ces types se situent en aval de l'ensemble de leur cours, les eaux présentent généralement des niveaux trophiques très élevés eutrophes (Moder) à hypertrophes (Ill dans les environs de Sélestat). Dans le Ried de l'Andlau, les rivières alloctones (Andlau et Ehn) sont hypertrophes. Par ailleurs, il n'existe pas de données dans la

²¹ L'identification n'est pas certaine car elle n'a pas pu être vérifiée par Mme Trémolières.

partie aval de l'Ill classée dans le type D2, comme il n'en n'existe pas pour les rivières du type D1 en amont de Sélestat.

Notons que, du fait de la turbidité de l'eau et de la plus grande profondeur, les macrophytes ne sont présents dans les lits fluviaux de grande taille de ces types de rivière (Ill moyenne, Moder aval...) que dans les zones de moindre profondeur, à savoir les bords des chenaux et les seuils naturels quand ils existent (Trémolières, communication orale).

3.1.1.2.3. LES DEFLUENTS ET PALEO-DEFLUENTS ELLANS, A DYNAMIQUE MODEREE (TYPE 3)

Comme cela a été montré, les défluent de ce type peuvent présenter une connexion hydrologique amont, pérenne ou temporaire. Dans le premier cas (par exemple défluent ellans dans l'Illwald), les communautés végétales indiquent une qualité eutrophe à hypertrophe, ainsi qu'un niveau de pollution organique mésosaprobe. Il n'existe pas de données concernant le Bornen, qui est un défluent de l'Ill, mais dont la part de l'alimentation phréatique en étiage paraît importante (importante augmentation du débit vers l'aval, présence de truites), ce qui entraîne vraisemblablement une amélioration de la qualité de l'eau vers l'aval. Dans le Ried de l'hdlau, les rivières phréatiques, qui écoulent toutes des eaux de débordement des rivières allochtones quand celles-ci sont en crue, sont mésotrophes, mais le Scheer est hypertrophe, probablement en raison des apports superficiels continus.

La situation des défluent ellans à connexion hydrologique intermittente est, globalement, plus variable. Ainsi, ce type de chenaux est mésotrophe à eutrophe dans l'Illwald. La Zembs est mésotrophe sur la plus grande partie de son cours, mais elle est oligomésotrophe dans sa partie amont et eutrophe sur son extrémité aval. L'Orchbach est mésotrophe sur tout son cours aval, alors que lbn ne dispose pas de données sur sa partie amont. En ce qui concerne la Lutter et le Bronnwasser, il a été montré que les communautés végétales de ces deux pal&-défluent ellans, compris dans le champ d'inondation de l'Ill, traduisent remarquablement bien leur fonctionnement hydrologique. Dans ces cas, les séquences végétales peuvent être inverses : B, CD, C, A, B et C pour la Lutter et C, B, A, B, C et B pour le Bronnwasser. En effet, en amont de ces cours d'eau, où les apports souterrains sont relativement faibles, la distribution des macrophytes traduit les apports réguliers des eaux superficielles de l'ill lors des débordements. Dans la partie médiane de ces rivières, d'importants apports souterrains par des sources limnocènes tendent à diluer les nutriments, d'où des groupements végétaux plus oligotrophes. Encore plus en aval, le niveau trophique tend de nouveau à augmenter globalement, en raison de la tendance générale à l'eutrophisation de l'amont vers l'aval.

3.1.1.2.4. LES PALEO-DEFLUENTS EURO-RHENANS, A DYNAMIQUE FAIBLE OU NULLE, DUSOUS-TYPE D4A

En règle générale, les pal&-défluent de ce type sont oligotrophes (association dont l'espèce la plus caractéristique est *Potamogeton coloratus*) en amont et de plus en plus eutrophes vers l'aval (Scheidgraben, Hanfgraben, Lachter, Muhlbach de Friesenheim, Trullygraben...). L'évolution de cette eutrophisation peut être plus ou moins rapide :

- elle peut être progressive, ce qui permet alors d'observer l'ensemble de la séquence végétale de l'amont vers l'aval, comme pour la Lachter²², ou au moins une partie de cette séquence, comme pour le Riedbrunnen (oligo-mésotrophe, puis méso-eutrophe) ;
- ou plus rapide, essentiellement dans le cas d'importantes perturbations anthropiques (rejets domestiques, déversoirs d'orages, piscicultures..), comme pour le Trullygraben, pour lequel les rejets d'une pisciculture provoquent le passage brutal du niveau oligotrophe au niveau eutrophe. Ces perturbations anthropiques ponctuelles, mais aussi celle, diffuse, liée aux intrants agricoles qui dégradent progressivement la qualité de l'aquifère, expliquent pourquoi l'extrémité amont de certains chenaux ne présente pas le groupement oligotrophe (Kesslergraben, Landweggraben, Laufgraben..), mais aussi pourquoi les communautés oligotrophes tendent à régresser depuis près d'une quarantaine d'années, ce qui est très préoccupant.

3.1.1.2.5. LES PALEO-DEFLUENTS SELLO-RHENANS, D'UN TYPE FAIBLE, D'UN TYPE D4B

Lorsque ces défluent sont alimentés continuellement par des prises d'eau, le niveau trophique est toujours élevé : mésotrophe à hypertrophe pour l'Ischert, eutrophe pour la Blind.

Dans le cas d'apports superficiels éphémères (connexion hydrologique temporaire), les groupements végétaux rencontrés sont grossièrement comparables à ceux des défluent du type D3 dont le fonctionnement hydrologique est identique, c'est-à-dire de type mésotrophe à eutrophe (situation rencontrée dans l'Ilwald).

Tableau 29 : Relation entre la typologie hydro-géomorphologique et l'échelle de bio-indication phytosociologique de la plaine rhénane.

Typol. Cereg	Bio-indic ^o	A oligotrophe	B oligo-méso.	C mésotrophe	D méso-eutrophe.	E eutrophe	F hypertrophe
Type A3		<i>non connu (probablement très eutrophisé, excepté pour la Doller)</i>					
Types D1-D2							
Type D3							
Type D4a							
Type D4b							

■ Situation fréquente
 ■ Situation occasionnelle

²² La séquence phytosociologique longitudinale de la Lachter est cependant aussi marquée par les rejets de deux piscicultures qui augmentent sensiblement le niveau trophique de cette rivière.

3.1.2. LES RIVIERES DES VOSGES GRESEUSES ET DES COLLINES MRNO-CALCAIRES ET LOESSIQUES DU NORD DE L'ALSACE

Contrairement aux Vosges cristallines, où les crues ont une énergie trop importante pour permettre une installation abondante de macrophytes aquatiques, les rivières des Vosges **grthuses**, et en particulier des Basses Vosges gréseuses, accueillent une flore aquatique abondante. De fait, un système de bio-indication de l'eutrophisation par les macrophytes aquatiques a pu être établi dans les cours d'eau faiblement minéralisés des Vosges du Nord (Muller, 1990 ; Thiébaud, 1997).

3.1.2.1. REMARQUES GENERALES

Dans les Vosges gréseuses, les caractéristiques minérales des eaux courantes sont les suivantes (Robach et al., 1996 ; Thiébaud et Muller, 1998) :

- pH ~ 5.5 - 7 ;
- conductivité : 40-110 $\mu\text{S.cm}^{-1}$;
- les teneurs en matière organique n'ont pas été mesurées ;

Plus en aval, dans les collines marno-calcaires et loessiques, ces caractéristiques géohydrochimiques sont sensiblement différentes (Robach et al., 1996) :

- pH : neutre, de l'ordre de 7, voire davantage (jusqu'à 8) ;
- conductivité : 150-380 $\mu\text{S.cm}^{-1}$;
- teneurs en matière organique généralement faibles.

L'échelle de bio-indication, définie à partir des communautés végétales, et **non** des espèces, comprend 4 classes (tabl. 30). On essaiera également de préciser **plus** bas, pour les deux types de cours d'eau des Basses Vosges gréseuses, les influences respectives de l'acidification et de l'ensablement, deux phénomènes qui peuvent également conditionner la distribution des phytocénoses aquatiques.

Tableau 30: Echelle de bio-indication phytosociologique basée sur la fréquence et l'occurrence des espèces dans chaque communauté végétale des cours d'eau des Vosges gréseuses (V 75-100%, IV 50-75%, **III 25-50%**, II 10-25%) et variables physiques et chimiques (moyenne et écart type).

Abbr.	Associations (n)	A'(10)	B'(10)	C'(12)	D'(6)
PPO	Potamogeton polygonifolius	V(2)	V(1)	-	-
CJm	Cardamine amara	I(1)	II(1)	-	-
GR	Glycena hibernica	IV(2)	V(1)	V(+)	V(+)
Fn	Fontinalis antipyretica	I(1)	II(1)	II(1)	III(2)
Maq	Mentha aquatica	I(+)	I(1)	II(+)	II(+)
Sem	Spmangium emersum	I(+)	III(1)	IV(1)	III(1)
Ser	Sparganium erectum	IV(1)	III(1)	I(+)	I(+)
Vbe	Veronica beccabunga	I(1)	-	III(+)	I(+)
CSF	Codium sargassoides	-	IV(+)	IV(+)	III(+)
Cha	Callitriche hamulata	-	III(1)	V(1)	V(2)
Lm	Lemna minor	-	II(+)	III(+)	IV(+)
Rpe	Rhyssalus peltatus	-	II(1)	II(2)	II(3)
Cpa	Callitriche parviflora	-	III(2)	III(2)	II(1)
Ber	Bernia erecta	-	II(1)	I(1)	I(2)
Pcr	Potamogeton nodosus	-	-	I(1)	-
M p	Utricularia vulgaris	-	-	II(+)	-
Pai	Parnassia palustris	-	-	I(+)	-
Pva	Potamogeton zosterifolius	-	-	I(+)	-
P Y	Phragmites australis	-	-	V(1)	V(+)
Cma	Glycena maxima	-	-	III(+)	II(+)
Elc	Elodea canadensis	-	-	III(3)	I(1)
Ein	Elodea nuttallii	-	-	I(2)	III(3)
Nas	Najas americana	-	-	III(1)	III(+)
OR	Oenanthe lachrymans	-	-	I(2)	I(+)
Pbe	Potamogeton berchtoldii	-	-	I(2)	I(+)
MSC	Myosotis scorpioides	-	-	-	II(+)
Cob	Codium bursa	-	-	-	V(3)
NR	Najas flexilis	-	-	-	I(+)
		mean(std)	mean (std)	man (std)	mcan (std)
	pH	6(0.2)	6.5(0.2)	6.9(0.3)	6.8(0.3)
	Conductivité ($\mu S/cm$)	59(14)	49(5)	74(18)	80(21)
	Hardness (meq/l)	0.3(0.1)	0.3(0.1)	0.5(0.2)	0.6(0.3)
	N-NH ₄ ⁺ ($\mu g/l$)	19(16)	47(6)	111(99)	142(72)
	P-PO ₄ ³⁻ ($\mu g/l$)	25(11)	26(13)	96(79)	150(66)
	N-NO ₃ ⁻ (mg/l)	0.6(0.2)	0.3(0.2)	0.5(0.2)	0.7(0.3)

Tableau 28 : Echelle de bio-indication phytosociologique basée sur la fréquence et l'occurrence des espèces dans chaque communauté végétale des cours d'eau de la plaine rhénane (V 75-100%, IV 50-75%, III 25-50%, II 10-25%) et variables physiques et chimiques (moyenne et écart type).

4bbr	utociiion in)	A(9)	B(11)	C(15)	D(17)	E(20)	F(16)
Poo	Potamogeton nodosus	VI(2)	-	-	-	-	-
Bat	Batrachospermum monoliforme	II(1)	-	-	-	-	-
Jsu	Juncus subnodulosus fo. subm.	III(+)	-	-	-	-	-
Cvu	Chara vulgaris	II(+)	-	-	-	-	-
Chi	Chara hispida	II(+)	-	I(2)	-	-	-
Lum	Lumprocystis roseo persicina	III(+)	-	I(3)	I(+)	-	-
Ber	Berula erecta (Stium erectum)	VI(2)	V(+)	V(2)	III(1)	III(1)	I(+)
Cob	Callitriche obtusangula	I(+)	III(+)	V(2)	V(2)	IV(1)	III(+)
Lir	Lemna trisulca	-	I(1)	III(1)	III(1)	II(1)	-
Fn	Fontinalis antipyretica	-	I(+)	I(1)	II(1)	II(+)	-
Elc	Elodea canadensis	-	-	IV(1)	III(1)	II(1)	I(+)
Sem	Sparganium emersum	-	-	II(+)	II(1)	II(+)	IV(1)
Lmi	Lemna minor	-	-	II(1)	III(1)	V(2)	V(1)
Pfr	Potamogeton friesii	-	-	II(+)	II(1)	II(1)	II(1)
Eln	Elodea nuttallii	-	-	I(2)	II(2)	IV(2)	IV(1)
Rci	Ranunculus circinatus	-	-	I(+)	-	-	-
Nas	Nasturtium officinale	-	-	-	V(1)	III(+)	II(+)
Spi	Spirodela polyrrhiza	-	-	-	I(1)	II(1)	IV(1)
Azo	Azolla filliculoides	-	-	-	I(1)	I(1)	II(1)
Pde	Croenlandia densa	-	-	-	II(1)	II(1)	-
Per	Potamogeton crispus	-	-	-	III(1)	II(1)	I(2)
Myv	Myriophyllum verticillatum	-	-	-	I(1)	I(+)	-
Zan	Zannichellia palustris	-	-	-	II(1)	II(1)	-
Hot	Hottonia palustris	-	-	-	I(1)	-	-
Hip	Hippuris vulgaris	-	-	-	I(1)	-	-
Ppe	Potamogeton pectinatus	-	-	-	II(1)	IV(3)	IV(1)
Mys	Myriophyllum spicatum	-	-	-	II(1)	IV(1)	V(1)
Ppr	Potamogeton perfoliatus	-	-	-	I(+)	I(2)	III(1)
Cde	Ceratophyllum demersum	-	-	-	I(+)	V(2)	V(1)
Efl	Oenanthe fluviatilis	-	-	-	-	I(r)	-
Rtr	Ranunculus trichophyllus	-	-	-	-	I(+)	-
Ppu	Potamogeton pusillus	-	-	-	-	I(+)	-
Rfl	Ranunculus fluitans	-	-	-	-	II(2)	III(+)
Ptu	Potamogeton lucens	-	-	-	-	-	III(1)
Pno	Potamogeton nodosus	-	-	-	-	-	III(2)
Maq	Mentha aquatica fo. subm.	I(r)	I(+)	I(1)	I(+)	I(1)	-
Vaq	Veronica anagallis aq.	I(+)	-	I(+)	I(+)	II(+)	-
Msc	Myosotis scorpioides	I(r)	-	I(1)	II(+)	II(+)	-
Vbe	Veronica beccabunga	-	-	-	I(+)	I(+)	I(+)
		mean (std)	mean (std)	mean (std)	mean (std)	mean (std)	mean (std)
	pH	7.4 (0.1)	7.5 (0.2)	7.5 (0.1)	7.6 (0.2)	7.9 (0.2)	7.9 (0.2)
	Conductivity	608 (115)	736 (112)	740 (99)	657 (66)	657 (63)	508 (52)
	Hardness (meq.l ⁻¹)	4.8 (1.4)	4.7 (0.9)	5 (0.7)	3.9 (0.4)	3.8 (0.5)	3.2 (0.3)
	N-NH ₄ ⁺ (µg/l)	13.7 (7.3)	22.2 (13.8)	45.3 (27.8)	33.8 (31.3)	61.2 (40)	255 (107)
	P-PO ₄ ³⁻ (µg/l)	7.2 (1.7)	13 (5.5)	14.9 (6.8)	29.4 (23.6)	39.9 (33)	191.5 (116)
	N-NO ₃ ⁻ (mg/l)	5.5 (1.4)	5.1 (1.8)	4.7 (2.1)	2.9 (2.5)	1.6 (1.1)	2.5 (0.9)

3.1.1.2. RELATIONS ENTRE TYPOLOGIE HYDRO-GEOMORPHOLOGIQUE ET COMMUNAUTES VEGETALES

(Carbiener, 1983a ; Carbiener, 1983b ; Eglin et al., 1992 ; Toureille Vercier, 1992 ; Trémolières et al., 1993 ; Trémolières et al., 1994a ; Trémolières et al., 1994, ; Carbiener et al., 1995 ; Robach et al., 1996 ; Schnitzler et al., 1996 ; Debold, 1997 ; Klein et al., 1997 ; Gueidan, 2000)

Comme nous l'avons évoqué, il semble ne pas exister de lien direct entre la morphodynamique des cours d'eau de la plaine rhénane et la distribution des phytocénoses aquatiques. De fait, les liens existant entre la typologie hydro-géomorphologique et l'échelle de bio-indication phytosociologique de la plaine rhénane traduisent essentiellement le fonctionnement hydrologique des cours d'eau, notamment leur mode d'alimentation : les apports superficiels sont généralement eutrophes à hypertrophes, alors que les apports souterrains sont oligotrophes à mésotrophes, mais peuvent être eutrophes à proximité du Rhin pour les défluent sub-actuels rhénans du type @' (N filtrats rhénans»). Ces liens sont explicités ci-dessous et synthétisés dans le tableau 29,

3.1.1.2.1. LES RIVIERES ALLOCHTONES DU PIEMONT DES VOSGES MERIDIONALES ET MOYENNES, A DYNAMIQUE LATERALE IMPORTANTE (TYPE A3)

Il n'est pas possible de mettre en évidence un lien entre ce type de rivière et l'échelle de bio-indication en raison de l'abondance relativement faible des macrophytes dans ces rivières (excepté sur certaines rivières du versant lorrain des Vosges cristallines ; Moselle amont ; Thiebaut, communication orale), ce qui est probablement lié à l'importante énergie des crues des cours d'eau des Vosges cristallines (Thiebaut, communication orale). Il semble donc que nous nous trouvions ici dans un cas limite où l'activité morphodynamique des chenaux joue un rôle plus important que la minéralisation et le niveau trophique, en l'occurrence en limitant très fortement l'implantation de macrophytes aquatiques. On note toutefois la présence occasionnelle de renoncules (**Ranunculus fluitans ou peltafud'** ?) sur les seuils naturels, car cette espèce est bien adaptée aux faciès d'écoulement de ce type (Large et al., 1993). Par ailleurs, ces cours d'eau ne présentent pas la même minéralisation de l'eau que ceux de la plaine rhénane proprement dite car la nature du substrat géologique de l'aire drainée est totalement différente. La condition d'homogénéité géohydrochimique n'étant donc pas assurée, une comparaison avec les résultats de la plaine rhénane proprement dite serait délicate.

3.1.1.2.2. LES RIVIERES ALLOCHTONES DE LA ZONE MEDIANE, A DYNAMIQUE MODEREE (TYPE D1) ET LES RIVIERES ALLOCHTONES DE LA PLANE RHENANE SEPTENTRIONALE, A DYNAMIQUE FAIBLE (TYPE D2)

Comme les rivières de ces types se situent en aval de l'ensemble de leur cours, les eaux présentent généralement des niveaux trophiques très élevés eutrophes (Moder) à hypertrophes (III dans les environs de Sélestat). Dans le Ried de l'hdldau, les rivières allochtones (Andlau et **Eh**) sont hypertrophes. Par ailleurs, il n'existe pas de données dans la

²¹ L'identification n'est pas certaine car elle n'a pas pu être vérifiée par Mme Trémolières.

partie aval de l'Ill classée dans le type D2, comme il n'en n'existe pas pour les rivières du type D1 en amont de Sélestat.

Notons que, du fait de la turbidité de l'eau et de la plus grande profondeur, les macrophytes ne sont présents dans les lits fluviaux de grande taille de ces types de rivière (Ill moyenne, Moder aval...) que dans les zones de moindre profondeur, à savoir les bords des chenaux et les seuils naturels quand ils existent (Trénoilières, communication orale).

3.1.1.2.3 LES DÉFLUENTS PALEO-DÉFLUENTS ELLANS, A DYNAMIQUE MODÉRÉE (TYPE D3)

Comme cela a été montré, les défluent de ce type peuvent présenter une connexion hydrologique amont, pérenne ou temporaire. Dans le **premier** cas (par exemple défluent ellans dans l'Illwald), les communautés végétales indiquent une qualité eutrophe à hypertrophe, ainsi qu'un niveau de pollution organique mésosaprobe. Il n'existe pas de données concernant le Bomen, qui est un défluent de l'Ill, mais dont la part de l'alimentation phréatique en étiage paraît importante (importante augmentation du débit vers l'aval, présence de mites), ce qui entraîne vraisemblablement une amélioration de la qualité de l'eau vers l'aval. Dans le **lié** de l'hdlau, les rivières phréatiques, qui écoulent toutes des eaux de débordement des rivières allochtones quand celles-ci sont en crue, sont mésotrophes, mais le Scheer est hypertrophe, probablement en raison des apports superficiels Continus.

La situation des défluent ellans à connexion hydrologique intermittente est, globalement, plus variable. Ainsi, ce type de chenaux est mésotrophe à eutrophe dans l'Illwald. La Zembs est mésotrophe sur la plus grande partie de son cours, mais elle est oligo-mésotrophe dans sa partie amont et eutrophe sur son extrémité aval. L'Orchbach est mésotrophe sur tout son cours aval, alors que l'on ne dispose pas de données sur sa partie amont. **En ce** qui concerne la Lutter et le Bronnwasser, il a été montré que les communautés végétales de ces deux paléo-défluent ellans, compris dans le champ d'inondation de l'Ill, traduisent remarquablement bien leur fonctionnement hydrologique. Dans ces cas, les séquences végétales peuvent être inverses : B, CD, C, A, B et C pour la Lutter et C, B, A, B, C et B pour le Bronnwasser. **En** effet, en amont de ces cours d'eau, où les apports souterrains sont relativement faibles, la distribution des macrophytes traduit les apports réguliers des eaux superficielles de l'Ill lors des débordements. **Dans** la partie médiane de ces rivières, d'importants apports souterrains par des sources limnocènes tendent à diluer les nutriments, d'où des groupements végétaux plus oligotrophes. Encore plus en aval, le niveau trophique tend de nouveau à augmenter globalement, en raison de la tendance générale à l'eutrophisation de l'amont vers l'aval.

3.1.1.2.4 LES PALEO-DÉFLUENTS ELLO-RHENANS, A DYNAMIQUE FAIBLE OU NULLE, DUSOUS-TYPE D4A

En règle générale, les paléo-défluent de ce type sont oligotrophes (association dont l'espèce la plus caractéristique est *Pofamogefon coloratus*) en amont et de plus en plus eutrophes vers l'aval (Scheidgraben, Hanfpben, Lachter, Muhlbach de Fnesenheim, Tnilygraben..). L'évolution de cette eutrophisation peut être plus ou moins rapide :

- elle peut être progressive, ce qui permet alors d'observer l'ensemble de la séquence végétale de l'amont vers l'aval, comme pour la Lachter", ou au moins une partie de cette séquence, comme pour le Riedbrunnen (oligo-mésotrophe, puis méso-eutrophe) ;
- ou plus rapide, essentiellement dans le cas d'importantes perturbations anthropiques (rejets domestiques, déversoirs d'orages, piscicultures..). comme pour le Trulygraben, pour lequel les rejets d'une pisciculture provoquent le passage brutal du niveau oligotrophe au niveau eutrophe. Ces perturbations anthropiques ponctuelles, mais aussi celle, diffuse, liée aux intrants agricoles qui dégradent progressivement la qualité de l'aquifère, expliquent pourquoi l'extrémité amont de certains chenaux ne présente pas le groupement oligotrophe (Kesslergraben, Landweggraben, Laufgraben..), mais aussi pourquoi les communautés oligotrophes tendent à régresser depuis près d'une quarantaine d'année, ce qui est très préoccupant.

3.1.1.2.5 L'ESPALÉO-DEFLUENTSELLO-RHENANS, A DYNAMIQUE FAIBLE OU NULLE, D'UN TYPE D4B

Lorsque ces défluent sont alimentés continuellement par des prises d'eau, le niveau trophique est toujours élevé : mésotrophe à hypertrophe pour l'Ischert, eutrophe pour la Blind.

Dans le cas d'apports superficiels ellans (connexion hydrologique temporaire), les groupements végétaux rencontrés sont grossièrement comparables à ceux des défluent du type D3 dont le fonctionnement hydrologique est identique, c'est-à-dire de type mésotrophe à eutrophe (situation rencontrée dans l'Iilwald).

Tableau 29 : Relation entre la typologie hydro-géomorphologique et l'échelle de bio-indication phytosociologique de la plaine rhénane.

Typol. Cereg	Bio-indic°	A oligotrophe	B oligo-méso.	C mésotrophe	D méso-eutrophe.	E eutrophe	F hypertrophe
Type A3		<i>non connu (probablement très eutrophisé, excepté pour la Doller)</i>					
Types D1-D2							
Type D3							
Type D4a							
Type D4b							
		<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: black; border: 1px solid black;"></div> Situation fréquente <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: #cccccc; border: 1px solid black;"></div> Situation occasionnelle </div>					

²² La séquence phytosociologique longitudinale de la Lachter est cependant aussi marquée par les rejets de deux piscicultures qui augmentent sensiblement le niveau trophique de cette rivière.

3.1.2. LES RIVIERES DES VOSGES GRESEUSES ET DES COLLINES MARGINALES CALCAIRES ET LOESSIQUES DU NORD DE L'ALSACE

Contrairement aux Vosges cristallines, où les crues ont une énergie trop importante pour permettre une installation abondante de macrophytes aquatiques, les rivières des Vosges gréseuses, et en particulier des Basses Vosges gréseuses, accueillent une flore aquatique abondante. De fait, un système de bio-indication de l'europhisation par les macrophytes aquatiques a pu être établi dans les **cours d'eau** faiblement minéralisé des Vosges du Nord (Muller, 1990 ; Thiébaud, 1997).

3.1.2.1. REMARQUES GENERALES

Dans les Vosges gréseuses, les caractéristiques minérales des eaux courantes sont les suivantes (Robach et al., 1996 ; Thiébaud et Muller, 1998) :

- pH : 5.5-7 ;
- conductivité : 40- 110 $\mu\text{S.cm}^{-1}$;
- les teneurs en matière organique n'ont pas été mesurées ;

Plus en aval, dans les collines marginales calcaires et loessiques, ces caractéristiques géohydrochimiques sont sensiblement différentes (Robach et al., 1996) :

- pH : neutre, de l'ordre de 7, voire davantage (jusqu'à 8) ;
- conductivité : 150-380 $\mu\text{S.cm}^{-1}$;
- teneurs en matière organique généralement faibles.

L'échelle de bio-indication, définie à partir des communautés végétales, et non des espèces, comprend 4 classes (tabl. 30). On essaiera également de préciser plus bas, pour les deux types de cours d'eau des Basses Vosges gréseuses, les influences respectives de l'acidification et de l'ensablement, deux phénomènes qui peuvent également conditionner la distribution des phytocénoses aquatiques.

Tableau 30: Echelle de bio-indication phytosociologique basée sur la fréquence et l'occurrence des espèces dans chaque communauté végétale des cours d'eau des Vosges gréseuses (V 75-100%, IV 50-75%, III 25-50%, II 10-25%) et variables physiques et chimiques (moyenne et écart type).

Abbr.	Associationsin)	A'(10)	B'(10)	C'(II?)	D'(6)
PPO	Potamogeton polygonifolius	V(2)	V(1)	-	-
Cam	Cudmine amara	I(1)	II(1)	-	-
GA	Glycena iuirans	IV(2)	V(1)	V(+)	V(+)
Fn	Fontindis mipyretica	I(1)	II(1)	II(1)	III(2)
Maq	Mentha aquatica	I(+)	I(1)	II(+)	II(+)
Sem	Sparganium emenum	I(+)	III(1)	IV(1)	III(1)
Ser	Sparganium erectum	IV(1)	III(1)	I(+)	I(+)
Vbe	Veronica bxcabungn	I(1)	-	III(+)	I(+)
CSr	Cdliuiche sragnalir	-	IV(+)	IV(+)	III(+)
Cha	Cdliitnche hmulaÿi	-	III(1)	V(1)	V(2)
Lmi	Lemna minor	-	II(+)	III(+)	IV(+)
Rpe	Rmunculus pelrams	-	II(1)	II(2)	II(3)
Cpa	Cdliitnche platycarpa	-	III(2)	III(2)	II(1)
Ber	Berula erectum	-	II(1)	I(1)	I(2)
Pcr	Potamogeton inspus	-	-	I(1)	-
Mya	Uynophyllum alterniflorum	-	-	II(+)	-
Pd	Powmogeton dpinus	-	-	I(+)	-
Pva	Pormogeton vuifoliur	-	-	I(+)	-
PY	Phdans Yundinacea	-	-	V(1)	V(+)
Gma	Glycena maima	-	-	III(+)	II(+)
Eli	Elodea canadensis	-	-	III(3)	I(1)
Ein	Elodea nurwillii	-	-	I(2)	III(3)
Nas	Nasturtium officinale	-	-	III(1)	III(+)
OR	Oenanthe Ruviatilis	-	-	I(2)	I(+)
Pk	Poimogefon berchtoldii	-	-	I(2)	I(+)
Msc	Myosotis scorpioides	-	-	-	II(+)
Cob	Callimche obrusanngula	-	-	-	V(3)
VA	Nitella Rexilis	-	-	-	I(+)
		mean (std)	mean (std)	mean (std)	mean (std)
	pH	6(0.2)	6.5(0.2)	6.9(0.3)	6.8(0.3)
	Conductivity ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	59(14)	49(5)	74(18)	80(21)
	Hardness (meq/l)	0.3(0.1)	0.3(0.1)	0.5(0.2)	0.6(0.3)
	N-NH ₄ ⁺ ($\mu\text{g}/\text{l}$)	49(16)	47(6)	111(99)	142(72)
	P-PO ₄ ³⁻ ($\mu\text{g}/\text{l}$)	25(11)	26(13)	96(79)	150(66)
	N-NO ₃ ⁻ (mg/l)	0.6(0.2)	0.3(0.2)	0.5(0.2)	0.7(0.3)

3.1.2.2. RELATIONS ENTRE TYPOLOGIE HYDRO-GEOMORPHOLOGIQUE ET COMMUNAUTES VEGETALES

3.1.2.2.1. LES COURS D'EAU DE TETE DE BASSIN DES BASSES VOSGES GRESEUSES

Globalement, ce type de cours d'eau est peuplé par le groupement végétal oligotrophe (A), caractérisé notamment par la présence de *Pofamogeton polygonifolius*. Cependant, il est à noter que **les** espèces de ce groupement, et en particulier *Pofamogeton polygonifolius*, peuvent être **éliminées** par l'ensablement des lits.

3.1.2.2.2. LES RIVERES AUWULES DES VOSGES GRESEUSES

Ce type de rivière peut être peuplé par les groupements végétaux des quatre niveaux de l'échelle de bio-indication, essentiellement en fonction du niveau trophique de l'eau (Thiébaut, 1997 ; Thiébaut et Muller, 1998a; Thiébaut et Muller, 1998b). Celui-ci est fréquemment élevé du fait des nombreux rejets domestiques et des piscicultures.

Par ailleurs, des espèces comme *Ranunculus peltatus* et *Myriophyllum alterniflorum* seraient sensibles à l'acidification des eaux (Thiébaut, 1997). On note aussi que l'ensablement de ce type de cours d'eau entraîne fréquemment une diminution de l'abondance de macrophytes, mais pas nécessairement de la biodiversité (Thiébaut, communication orale). Enfin, sans remettre en question ces tendances générales, les peuplements végétaux détaillés de ce type de rivière montrent fréquemment, d'un cours d'eau à un autre, une assez grande hétérogénéité (en diversité et en abondance). Ces différences pourraient être expliquées par des facteurs stationnels locaux (profondeur, vitesse, granulométrie, éclaircissement... ; Thiébaut, communication orale).

3.1.2.2.3. LES RIVIERES ALLUVIALES ORIGINAIRES DES VOSGES GRESEUSES, PARCOURANT LES COLLINES WO-CALCAIRES ET LOESSIQUES

Pour qu'il soit possible de mettre en évidence une éventuelle différence entre les peuplements végétaux de ce type et ceux du type de rivière précédent, il est nécessaire que des investigations hydrocologiques soient menées sur les secteurs vosgiens et collinaires des mêmes rivières. Or, ce type d'étude est très rare, Nous nous baserons donc exclusivement **sur** une étude consacrée à la Moder (Thiébaut et Muller, 1998a).

Au cours du passage du massif vosgien aux collines marno-calcaires et loessiques, la minéralisation des eaux de la Moder augmente très sensiblement (pH et conductivité passent respectivement de 7.2 à 8 et de 95-130 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ à 230-380 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), alors que son niveau trophique reste environ constant (concentrations en $[\text{N} - \text{NH}_4^+]$ et $[\text{P} - \text{PO}_4^{3-}]$). Compte tenu du changement d'unité naturelle et de minéralisation des eaux, l'utilisation de l'échelle de bio-indication adaptée aux Vosges du Nord n'est donc plus valide. Toutefois, les traitements statistiques effectués par Thiébaut et Muller (1998a) mettent clairement en évidence le changement de peuplement végétal. **On** note en particulier l'apparition de nouvelles espèces

comme *Elodea ernstae* et des algues du genre *Cladophora* sp., alors que les auteurs constatent l'absence de *Ranunculus peltatus*, *Amblystegium fluviatile* et *Chiloscyphus polyanthos*.

Bien entendu, l'acidification ne peut plus poser de problème pour ce type de cours d'eau du fait de la plus grande minéralisation. De même, l'ensablement ne semble pas non plus représenter ici une contrainte notable.

3.2. LES MACROINVERTEBRES BENTHIQUES

La distribution spatiale des espèces de macroinvertébrés benthiques est la résultante d'interactions complexes entre deux grands ensembles de paramètres (Richardot-Coulet et Greenwood, 1993) :

- la capacité d'adaptation des espèces vis-à-vis des facteurs de milieu (substrat, vitesse du courant, profondeur...) ;
- leurs exigences en matière de substrat ou de ressources trophiques.

Ces deux grands groupes de paramètres sont à l'origine des différents systèmes de zonation longitudinale des cours d'eau proposés : la zonation de Illies et Botosaneanu (1963 ; zonation amont-aval des biocénoses : crénon, rhithron, potamon ; zonation des biotopes correspondants : crénal, rhithral, potamal) est essentiellement fondée sur les caractéristiques hydrauliques, alors que le continuum fluvial écologique proposé par Vannote et al. (1980 ; River **Continuum** Concept) repose sur l'évolution longitudinale des conditions trophiques disponibles, elles mêmes contrôlées par les caractéristiques abiotiques du milieu (hydrologie, géomorphologie, énergie de l'écoulement..).

Il apparaît donc bien que l'évolution longitudinale des caractéristiques hydro-géomorphologiques structure les communautés benthiques. Un parallèle semble donc pouvoir être **mis** en évidence entre les séquences amont-aval de types hydro-géomorphologiques de cours d'eau dans les différentes unités naturelles d'Alsace et les distribution des macroinvertébrés aquatiques. Cependant, ces peuplements sont également intimement contrôlés par la qualité de l'eau, et particulier **par** son niveau de pollution. **En** conséquence, les données **d'IBGN** fournies par l'Agence, par ailleurs très ponctuelles, ne sont malheureusement pas utilisables en l'état pour l'objectif recherché.

On pourrait tenter d'atteindre cet objectif en utilisant un jeu de données hydrobiologiques nettement plus important, ce qui permettrait de s'affranchir dans une certaine mesure du biais lié à la pollution des eaux, ou encore en se basant sur **un** jeu complet de données sur des cours d'eau peu pollués (par exemple la Doller). Les stations de prélèvements hydrobiologiques devraient alors être bien réparties de l'amont vers l'aval, être relativement nombreuses (au moins une dizaine) et exclure les zones aménagées. Dans un cas comme dans l'autre, ce n'est qu'après avoir défini les peuplements benthiques de référence (en s'affranchissant de la pollution des eaux et de la dégradation géomorphologique des lits fluviaux) qu'une comparaison avec la typologie hydro-géomorphologique serait possible. Notons que cela pourrait être relativement aisé, pour une première approche relativement grossière, en déterminant les peuplements pseudo-naturels de référence à partir de quelques variables hydro-géomorphologiques simples, ou encore, plus prosaïquement, à partir la

typologie hydro-géomorphologique. Dans ce *cas*, il pourrait être intéressant de comparer ces peuplements « théoriques » avec les peuplements observés.

Notons pour finir que les peuplements benthiques des torrents montagneux (type A1) et des cours d'eau alluviaux intra-montagnards à énergie élevée et à dynamique limitée (type A2a) peuvent différer sensiblement entre les Vosges cristallines et les Vosges gréseuses, notamment **en** ce qui concerne la densité des macroinvertébrés. En effet, dans les Vosges gréseuses, l'importante charge sableuse constitue une forte contrainte pour les macroinvertébrés qui sont de ce fait nettement moins abondants que dans les Vosges cristallines (Hahn²³, communication orale).

3.3. LES POISSONS

La répartition spatiale des peuplements piscicoles présente généralement un gradient longitudinal comparable à celui des macroinvertebrés aquatiques (**Roux** et Copp, 1993). Les variables physiques de contrôle sont ici la pente (qui est très liée à la vitesse), la largeur, la profondeur (Huet, **1949**) ou l'ordre. **Remarquons** que ces trois dernières variables sont étroitement **liées** à la taille, donc au débit, des rivières. Comme **pour** les invertébrés, il apparaît donc bien que l'évolution longitudinale des caractéristiques hydro-géomorphologiques des **cours d'eau** de la zone d'étude structure **dans** une large mesure la distribution des communautés piscicoles.

Maiheureusement, nous nous heurtons ici aux mêmes difficultés que pour les macroinvertébrés aquatiques, à savoir que les données fournies par l'Agence ne sont pas utilisables en l'état car :

- elles reflètent également l'antropisation **du** milieu : pollution des eaux, dégradation géomorphologique des habitats, **mais** aussi les alevinages très fréquents ;
- elles sont trop ponctuelles.

Pour tenter d'atteindre notre objectif, il conviendrait de comparer la typologie hydro-géomorphologique avec une carte des zones piscicoles de Huet (**1949**) pour les cours d'eau de la zone d'étude, ou tout autre document de zonation piscicole. Ne disposant pas de ce type de document, il ne nous est hélas pas possible de faire apparaître de lien entre les séquences amont-aval des types hydro-géomorphologiques et la distribution de l'ichtyofaune. Cela devrait pourtant être relativement aisé, soit en consultant la carte des zones piscicoles d'Alsace, si ce document existe, soit en ayant recours à un ichtyologue spécialiste de l'Alsace qui pourrait indiquer par expertise à quelles zones piscicoles correspondent les différents types hydro-géomorphologiques de rivières.

²³ Universität Giessen, Allemagne.

3.4. LES OISEAUX

3.4.1. REMARQUES GENERALES

Le travail de Roché (1989) qui porte sur quelques cours d'eau de Franche-Comté a montré l'existence d'un gradient écologique longitudinal des oiseaux nicheurs des bords des cours d'eau. Cet auteur montre que ce gradient, étroitement lié à la variable générale « distance à la source », peut s'expliquer par l'évolution longitudinale de plusieurs facteurs écologiques :

- la largeur du fond de vallée et la largeur du lit mineur, qui augmentent de l'amont vers l'aval ;
- la diversité des habitats aviens, qui est liée à :
 - la diversité transversale des habitats (vitesse de l'eau, profondeur, granulométrie des bancs, types de milieux terrestres riverains...), qui augmente vers l'aval ;
 - l'effet de lisière, qui tend à être maximum dans le cours médian des cours d'eau, notamment en raison de la présence de chenaux latéraux (bras de tressage, défluent) ;
- la productivité du milieu, qui augmente vers l'aval du fait de l'accumulation d'une partie de la biomasse produite en amont.

3.4.2. RELATIONS ENTRE TYPOLOGIE HYDRO-GEOMORPHOLOGIQUE ET COMMUNAUTES AVIENNES

Globalement, ce gradient ornithologique se retrouve, dans ses grandes lignes, sur la plupart des cours d'eau du Bassin Rhin-Meuse (Maly et Braun, 1994 ; Maly, 1996). Ainsi, Maly (1996) distingue globalement, de l'amont vers l'aval des cours d'eau, quatre cortèges ornithologiques en se basant sur la répartition de 14 espèces d'oiseaux :

- le cortège 4 (Chevalier guignette, Cincle plongeur, Bergeronnette des ruisseaux) : caractéristique des torrents montagneux et des cours d'eau intra-montagnards à pente forte où le pourcentage de faciès d'écoulement lotiques est important (Vosges cristallines) ;
- le cortège 3 (Petit Gravelot, Hirondelle de rivage, Martin-pêcheur) : caractéristique des lits mineurs à dynamique modérée à très active, présentant des bancs vifs et des sapements de berges ;
- le cortège 2 (Héron cendré, Poule d'eau, Grèbe huppé, Grèbe castagneux) : caractéristique des lits majeurs et de leurs plans d'eau annexes ;
- le cortège 1 (Râle de genêts, Courlis cendré, Tarier d'Europe, Bergeronnette printanière) : caractéristique des prairies humides de vastes lits majeurs.

Maly (1996) souligne par ailleurs, comme Roché (1989), le poids de la taille des cours d'eau qui tend à faire augmenter le nombre d'espèces, voire de cortèges, de l'amont vers l'aval.

Les cortèges 3 et 4 sont particulièrement liés au lit mineur, alors que les cortèges 2 et 1, parfois associés l'un à l'autre, sont liés au lit majeur. On pourrait donc s'attendre que tout

cours d'eau dont les habitats aquatiques et riverains ne sont pas dégradés (qualité de l'eau, morphologie du lit mineur, occupation du sol du lit majeur...) présente, de l'amont vers l'aval, la succession suivante : cortège 4, cortège 3, combinaison des cortèges 2 et 1.

.. Cependant, l'objectif de cet important travail de la Ligue pour la Protection des Oiseaux n'est **pas** de cartographier les peuplements aviens pseudo-naturels de référence de l'amont vers l'aval de chaque cours d'eau étudié, **mais** d'évaluer leur qualité par la présence ou l'absence des cortèges, qui résulte de l'observation des **14** espèces avicoles étudiées. Ainsi, en toute rigueur, les cartes de répartition des cortèges et des espèces devraient être comparées avec les cartes de la qualité de l'eau et de la qualité du milieu physique des cours d'eau, et non avec la carte de la typologie hydro-géomorphologique des cours d'eau, celle-ci ne donnant que ~~le~~ de référence pseudo-naturel des géo-systèmes fluviaux.

Néanmoins, il est possible de proposer des correspondances générales entre la typologie hydro-géomorphologique et les cortèges avicoles :

- cortège 4 : correspond aux types A1, A2a et B2 (le Chevalier guignette semble cependant être très rare **sur** les types A2a et B2, même en l'absence totale d'anthropisation) ;
- cortège 3 : correspond au type A2b et, surtout, au type A3. Le Petit Gravelot et l'Hirondelle de rivage sont hautement caractéristiques des cours d'eau à dynamique très active du type A3. **Nous** excluons ici le cas du Rhin, qui est, comme l'indique Maly (1996), **un** cas particulier ;
- cortège 2 : correspond pour l'essentiel **aux** cours d'eau de la plaine rhénane proprement dite, où les gravières et les grands cours d'eau à vitesse faible et profondeur importante sont nombreux ;
- cortège 1 : semble correspondre grossièrement aux cours d'eau des plateaux et collines — 0-calcaires et loessiques (types C2 et C2a ; en raison de l'abondance des prairies dans les lits majeurs), mais aussi au type A3 quand le lit majeur est étendu et est essentiellement constitué de prairies.

3.5. LA FUPISYLVE

Il est possible de mettre en évidence quelques correspondances, plus ou moins nettes, entre les types hydro-géomorphologiques de cours d'eau et la ripisylve :

- les types A1 et **B1** ne présentent pas de ripisylve, ou, quand elle existe, elle est très éparsée et discontinue (Aulne glutineux, Saules) ;
- les types A2a, A2b, B2, B3a, C, C1a, C2, C2a, **C'**, D1, D2, D3 et **D4** présentent généralement, **sur** les berges, une ripisylve habituelle de cours d'eau alluviaux à dynamique latérale modérée, faible ou nulle : les principales espèces sont le Saule blanc, le Saule fragile, l'Aulne glutineux, le Frêne, diverses variétés de Peupliers.., ainsi que des arbustes comme le Fusain, l'Aubépine, la Viorne obier, le Troène.. Notons que la saulaie-peupleraie pionnière est généralement rare,

excepté localement sur certaines berges convexes des cours d'eau les plus dynamiques du type A2b (sites Bmche7, Hasel4..) ;

- les cours d'eau incisés de la forêt de Haguenau du type B3b sont généralement pourvus du même type de ripisylve des berges que les types précédents, mais ils présentent de surcroît, dans les « néo-plaines » alluviales encaissées, des forêts à bois dur hygrophiles (mais les sols ne sont pas constamment saturés en eau) à Frênes, Ormes diffus, Chênes pédonculés, Aubépines, Merisiers à grappes.. .
- les types à dynamique très active du type A3 présentent dans la bande active, des peuplements d'authentiques forêts pionnières à bois tendre où on dénombre essentiellement des Saules, notamment arbustifs, et des Peupliers (saulaie-peupleraie pionnière). De tels peuplements pionniers sont très caractéristiques des bords des cours d'eau de ce type.

3.6. CONCLUSION

Les développements ci-dessus font apparaître les principaux aspects structurants de la typologie hydro-géomorphologique proposée par le **CEREG** vis-à-vis de certaines biocénoses aquatiques et riveraines :

- la distribution des macrophytes aquatiques est essentiellement contrôlée par la qualité hydro-géochimique de l'eau (minéralisation, niveau trophique). Certaines correspondances entre la distribution des macrophytes et les types de cours d'eau ont ainsi pu être mises dans les Vosges gréseuses et la plaine rhénane ;
- la zonation des oiseaux nicheurs des bords des cours d'eau est globalement structurée (mais à une échelle relativement grossière, excepté pour les cours d'eau du type A3) par le gradient hydro-géomorphologique amont-aval relatif aux quatre paramètres ci-après : profondeur, vitesse, granulométrie et intensité de la dynamique latérale du lit mineur ;
- la ripisylve est globalement conditionnée par l'intensité de la dynamique latérale des lits fluviaux ;
- en ce qui concerne la faune benthique et l'ichtyofaune, les données mises à notre disposition par l'Agence ne nous ont pas permis d'approfondir la question, mais des pistes de réflexion sont proposées. Sur **un** plan général, il est cependant clair que ces biocénoses aquatiques sont fortement structurées par le gradient hydro-géomorphologique longitudinal.

4. ÉVALUATION SCIENTIFIQUE DE LA TYPOLOGIE DE L'AGENCE

4.1. EVALUATION DE LA TYPOLOGIE DES RIVIÈRES DE LA PLAINE RHÉNANE

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.

4.1.1. APPRECIATION D'ENSEMBLE

Comme on peut le constater dans le tableau 31 et en comparant la figure 28 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 (tableau 32). 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.

4.1.2. 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^e 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 31 et en confrontant la typologie du CEREG (fig. 28) avec celle de l'Agence.

➤ **Type D2** : Dans la typologie de l'Agence, les cours aval de l'Ill, 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'III 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 (pente, sédiments...), mais ne détermine quasiment jamais la masse d'eau morphogène. S'il 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 formes 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 discriminent clairement sur des critères hydro-géomorphologiques et qu'il convient de faire cette distinction aux fins d'évaluation de la qualité du milieu physique. En revanche la subdivision en sous-types D4a et D4h, 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

de l'III. 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'hdlau : 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 fin-würmienne et holocène précis & plus haut de cette rivière (vraisemblablement un ancien défluent ellan), qu'un rapprochement avec les défluent de l'III, 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 31 : 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 Apence	Sites	Types CEREG (traitements statistiques et reconnaissance de terrain)				
		Type 43	Type D1	Type D2	Type D3	Type D4
Cours d'eau de Piémont, cônes alluviaux glacis	Doller7					
	Doller8					
	Taur5	*				
	Fechi5					
	Giessen6	•				
	Bruch11	•				
Cours d'eau de Piémont à influence phréatique	L117	•				
	L118	t.				
	L119					
	L1110					
Cours d'eau de Piémont à influence phréatique	Giessen7		•			
	Scheer1				•	
	Scheer2				•	
	Andlau8		•			
	Andlau9		•			
Cours d'eau phréatiques	Bruch13	♦				
	Bornen1				•	
	Bornen2				•	
	Bornen3				•	
	Bromwasser2				•	
	Bromwasser3				t.	
	Lutter3				•	
	Schiffwasser1				•	
	Orohbach1				•	
	Zembs1				•	
	Zembs2				•	
	Bromwasser1					•
	Fallgraben1					•
	Ischert1					•
	Ischert2					•
	Ischert3					•
	Ischert4					•
	Ischert5					•
	Lachter1					•
	Lachter2					•
	Lachter3					•
	Laufgraben1					•
	Laufgraben2					•
	Laufgraben3					•
	Laufgraben4					•
	Lutter1					•
	Lutter2					•
Truhgraben1					•	
Truhgraben2					•	
Truhgraben3					•	
Vieil Ergelsenbach1					•	
Moder9				t.		
Sauer7				•		
Cours d'eau collines argilo-limoneux	Andlau7		■			

Typologie CEREG	Σ des coef. variatio	Typologie Agence	Σ des coef. variatio
Type A3	4.5	Piémont, cûnes...	3.8
Type D1	4.6	Piémont, infl. phréat.	4.8
Type D2	1	Plaine infl. phréat.	7.1
Type D3	8.6	Cours d'eau phréat.	13.3
Type D4	10.2		

4.2. EVALUATION DE LA TYPOLOGIE DES RIVIERES DE L'ENSEMBLE DE LA ZONE D'ETUDE, HORMIS CELLES DE LA PLAINE RHENANE

4.2.1. APPRECIATION D'EATEMBLE

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 sectorisation 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 :

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

○ 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 33.

4.2.2. LES VOSGES CRISTALLEVES

➤ **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 Liepvrette et de la Bruche, tous les torrents de tête de bassin des Hautes Vosges gréseuses.

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

Divergences : : des différences au niveau des transitions ;

- des tronçons des Hautes Vosges gréseuses mal classés : Zom, Mossig.
- le **CEREG** distingue les sous-types «cours d'eau alluviaux intra-montagnards à énergie élevée et à dynamique limitée » (**type Ma**) 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 «cours d'eau de piémont, cônes alluviaux, glacis » (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'Ille entre Mulhouse et Colmar, l'hd la u 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 km²** 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.

4.2.3. LES VOSGES GRESEUSES

➤ **Type B1** : n'appartient 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 « 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 « 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 « cours d'eau de collines et plateaux argilo-limoneux, plaines d'accidation », alors que la Moder traverse dans ce secteur les formations pliocènes de la Forêt de Haguenau ;
- 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 retrouve rarement sur d'autres rivières.

4.2.4. LES COLLINES ET PLATEAUX MRNO-CALCALRES 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 : Soultzbach 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 Cla** : 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 : Soultzbach 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 (frais des poissons, habitat des invertébrés..).

➤ **Type C2a** : ce sous-type est une subdivision des u 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 1111, Larguel) car de tels milieux sont très peu représentés en Alsace.

5. CONCLUSION ET PROPOSITION D'AXES D'AMELIORATION 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 hydro-géomorphologique 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 permettrait d'améliorer l'utilisation de l'outil d'évaluation de la qualité du milieu physique des cours d'eau. En effet, le fonctionnement hydro-géomorphologique 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 :

○ 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 cours d'eau (hormis 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 mammo-calcaires et loessiques : charge dominante argilo-limoneuse, d'où $W/D \approx 6-8$; Vosges Meuses : 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**) ;

○ 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 pour la rivière ;

○ 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 (Downs et Thomc, 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 :

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

La variable qualitative «<typed'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 été nettement 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'Andlau...) et les héritages géomorphologiques (accumulations fluvio-glaciaires dans les fonds de vallée des Vosges cristallines et, surtout, paléo-dynamique post-würmienne et holocène dans la plaine rhénane) s'est avérée essentielle lors de l'interprétation des résultats, notamment ceux afférents aux cours d'eau 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.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Agences de l'Eau, 1999. Les outils d'évaluation de la qualité des cours d'eau (S.E.Q.). Principes généraux. *Les études des Agences de l'Eau* 72, 11 p.
- Agence de l'Eau Rhin-Meuse, Université de Metz Laboratoire d'Ecologie, Ecolor, Gereea, Loisirs, et détente & INRA Rennes, 1991. Etude des végétaux fixes en relation avec la qualité du milieu (méthodologie MEV). Etude inter-agences, hors série. 94 p. + ann. + référentiel (composantes abiotiques du milieu aquatique), 17 p.
- Agence de l'Eau Rhin-Meuse, DIREN-Alsace, Office National des Forêts, 2000a. Qualité du milieu physique de 1111. Campagne 1998-1999, 34p. + ann.
- Agence de l'Eau Rhin-Meuse, DIREN-Alsace, Office National des Forêts, 2000b. Qualité du milieu physique de la Largue. Campagne 1998-1999, 19p. + ann.
- AMOROS C. & PEITS G.E. (Eds), 1993. Hydrosystèmes fluviaux. *Mmson, Paris*, 300 p.
- AND —A— H., 1999. Les hydro-écorégions du bassin de la Loire. Morphologie, hydrologie, pressions anthropiques sur les cours d'eau et les bassins-versants. *Thèse de Doctorat, Université Jean Monnet, CEMGREF Laboratoire d'hydroécologie Quantitative*, 272 p. + ann.
- ANDRIAMAHEFA H. & MALAVOI J.R., 1993. Eléments pour une typologie morphologique des cours d'eau du bassin de la Loire. Rapport d'étape. *Ministère de l'environnement, CEMGREF, Groupement de Lyon, Division Biologie des Ecosystèmes Aquatiques, Laboratoire d'Hydroécologie Quantitative, Epteau*, 48 p. + ann.
- AQUASCOP, 1997 (déc.). SEQ milieu physique. 1. Typologie physique simplifiée des cours d'eau français. *Agence de l'Eau Rhin-Meuse*, 55 p. + ann.
- ASTRADE L. & BRAVARD J.P., 1999. Energy gradient and geomorphological processes along a river influenced by neotectonics (the Saône river, France). *Geodinamica Acta*, 12, 1, pp. 1-10,
- BAGNOLD R.A., 1966. An approach to the sediment transport problem from general physics. *U.S. Geological Survey Professional Paper*, 422 i., 37 p.
- BERNOT V., CALLAND V., BRAVARD J.P. & FOUSSAD M R., 1996. La sectorisation longitudinale du Vidourle (Gard-Hérault) : une méthode appliquée à la gestion environnementale de l'espace fluvial méditerranéen. *Revue de Géographie de Lyon*, 4, pp. 323-339.
- BERNOT V. & CREUZE DES CHATELLERS 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 à l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse, A.R.A.L.E.P.B.P.*, 63 p. + ann.
- BERNOT V. & MALAVOI J.R., 1999. Méthode de sectorisation préalable à l'étude des cours d'eau. Guide d'utilisation pour l'application au Bassin Rhône-Méditerranée-Corse. *ARALEPBP, Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse*, 29 p. + ann.
- BEST J.L. & BRISTOW C.S. (Eds), 1993. Braided rivers. *Geological Society Special Publication No 75*, 432p.
- BETHEMONT J., AND —A— H., ROGERS C. & WASSON J.G., 1996. Une approche régionale de la typologie morphologique des cours d'eau. Application de la méthode « morphorégions » au bassin de la Loire et perspectives pour le bassin du Rhône (France). *Revue de Géographie de Lyon*, 71, 4, pp. 311-322.
- BOUDOT J.P., GEISSERT F., LEXBER J., MENILLET F. & SCHWOERER P., 1987. Notice explicative de la feuille Benfeld au U50.000'. *BRGM 74* p.
- BRAVARD J.P. & PETIT F., 1997. Les cours d'eau. Dynamique du système fluvial. *Ar d Colin*, 222 p.
- BRAVARD J.P., KONDOLF G.M. & PEGAY H., 1998 (à paraître). Environmental and societal effects of Channel incision, and remedial strategies. in. SIMON A. & DARBY S. (Eds), incised river channels. *John Wiley & Sons*, 51 p.
- B.R.G.M., 1972. Notice de la carte géologique au 1/50.000^e de Colmar-Artoisheim. *B.R.G.M., Orléans*, 59 p.

- BRIERLEY G.J. & FRYIRS K., 2000. River styles, a geomorphic approach to catchment characterization : implications for river rehabilitation in Bega catchment, New South Wales, Australia. *Environmental Management*, 25, 6, pp. 661-679.
- BRUSSOCK P.P. BROWN A.V. & DMON J.C., 1985. Channel form and Stream ecosystem models. *Water Resources Bulletin*, 21, 5, pp. 859-866.
- BUIREL A. & DONTENWILL S., 1956. Etude de géomorphologie dynamique sur les rivières vosgiennes, Fecht et Bruche. *Bulletin Section de Géographie, Comité des Travaux Historiques et Scientifiques*, LXIX, pp. 135-184.
- BULL W.B., 1979. Threshold of critical power in streams. *Geological Society of America Bulletin*, 90, 1, pp. 453-464.
- BURCKEL C. et 11 auteurs, 1986. Nos Rieds. *CRDP, Dossier Muttre*, 14, 73 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. Eco.*, 14, 4, p. 249-277.
- CARBENER R., 1983b. Brunnenwasser. *Encyclopédie de l'Alsace. Ed. Publitotai*, 2, pp. 891-900.
- CARBIENER R. & SCHNITZLER A., 1990. Evolution of major pattern models and processes of alluvial forest of the rhine in the rift Valley (France/Germany). *Vegetatio*, 88, pp. 115-129.
- CARBIENER R. & DILLMANN E., 1992. Cas type de Rhiau-Daubensand : l'évolution du paysage rhénan dans la région de Rhinau, au coeur du secteur des Giessen. des Muhlbach et Brunnenwasser. In. GALLUSSER W.A. & SCHENCKER A. (Ed.), Die Auen am Oberrhein, les Zones alluviales du Rhin Supérieur. *Birkhäuser, Bâle*, p. 113-136.
- CARBIENER R., TREMOLIERES M. & MULLER S., 1995. Végétation des eaux courantes et qualité des eaux : une thèse, des débats, des perspectives. *Acta bot. Gallica*, 142, 6, pp. 489-531.
- CARLIER M., 1986. Hydraulique générale et appliquée. *Eyrolles, Collection de la Direction des Etudes et Recherches d'Electricité de France*, 565 p. + ann.
- CARSON M.A., 1984. The meandering-braided river threshold : a reappraisal. *Journal of Hydrology*, 73, pp. 315-334.
- CHIN A., 1998. On the stability of step-pool mountain streams. *The Journal of Geology*, 106, pp. 59-69.
- CLOOTS-HIRSCH A.R., 1988. Extension et mécanismes des inondations dans le Ried Central de l'Alsace. *PIRE Eau Alsace, CNRS, Ministère de l'Environnement, Région Alsace*, 23 p. + 1 carte.
- CLOOTS-HIRSCH A.R. & MARE G., 1980. Recherches méthodologiques sur le réseau hydrographique de la Gartempe. Etudes préalables aux aménagements de rivières. Sectorisation et hiérarchisation d'objectifs. *Ministère de l'Agriculture, ULP Strasbourg, Centre de Géographie Appliquée*, LA 95 CNRS, 75 p. + 8 cartes.
- CLOOTS A.R., MAIRE G. & WILMS P., 1982. Etude morphodynamique de la Thur et de sa vallée (du barrage de Kmth-Wildenstein à Ensisheim). *Centre de Géographie Appliquée, ULP, DDA Haut-Rhin, Ministère de l'Environnement, Département du Haut-Rhin*, 44 p. + ann.
- COHEN P., 1998. Régionalisation de l'habitat physique du poisson. Approche multi-scalaire et application au bassin de la Loire, France. *Thèse de Doctorat, Université Claude Bernard - Lyon I, CEMAGREF, 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. 391-404.
- COLLIER K.J., 1992. Assessing river stability : use of the Pfankuch method. *Head Office, Department of Conservation, Science and Research Internal Report N° 131*, 17 p.
- Commission Internationale de l'Hydrologie du Bassin du Rhin, 1977 Le bassin du Rhin, Monographie, 1977.
- CORBONNOIS J. & ZUMSTEIN J.F., 1994. Proposition de typologie des cours d'eau. Application au réseau hydrographique du Nord-Est de la France (bassin de la Moselle). *Revue de Géographie Alpine*, 2, pp. 15-24.

- CWP C.E., 1989a. Identifying spatial variability of stream characteristics through classification. *MS Thesis, University of Washington, Seattle*, 92 p.
- CUPP C.E., 1989b. Stream comdor classification for forested lands of Washington. *Washington Forest Protection Association, Olympia, Washington, USA*, 24 p. + ann.
- DDAF Bas-Rhin, 1997. Atlas des zones inondées du Bas-Rhin. *Ministère de l'Environnement, Préfecture du Bas-Rhin, Ministère de l'Agriculture de la Pêche et de l'Alimentation*.
- DEBOLD F., 1997. Bioindication de la qualité des eaux courantes par les macrophytes aquatiques. Etude d'un cas d'amélioration de la qualité de l'eau et de ses conséquences sur la végétation : la Zembs en Alsace. *ULP Strasbourg, UFR des Sciences Pharmaceutiques, Mémoire de Doctorat*, 74 p. + ann.
- DEMORTIER G., GOETGHEBEUR P. & AQUASCOP, 1996b. Outil d'évaluation de la qualité du milieu physique des cours d'eau. Test sur la Meurthe et le Rupt de Mad. Tome 1. *Agence de l'Eau Rhin-Meuse, AQUASCOP*, 131 p.
- DOWNS P.W., 1994. Characterization of river Channel adjustments in the Thames basin, South-East England. *Regulated Rivers - Research and Management*, 9, pp. 151-175.
- DOWNS P.W., 1995. River Channel classification for channel management purposes. In: GURNELL A. & PEITTS G. (Eds), *Changing river channels*. John Wiley & Sons Ltd, pp. 347-365.
- DOWNS P.W. & THORNE C.R., 1996. A geomorphological justification of river channel reconnaissance surveys. *Transactions of the Institute of British Geographers*, pp. 455-468.
- EGLIN L., TREMOLIERES M. & CARBIENER R., 1992. Le niveau d'eutrophisation des rivières phréatiques de la plaine d'Alsace à partir de la répartition des groupements végétaux aquatiques. Cartographie de la répartition des groupements végétaux aquatiques indicateurs du niveau d'eutrophisation. *Région Alsace, Université Louis Pasteur, CNRS*, 23 p.
- ERNST & KORN, 1889. Der Rheinstrom und seine wichtigsten Nebenflüsse von den Quellen bis zum Austritt des Stromes aus dem Deutschen Reich. 22 *ihnen beilagen bearbeitet von dem Grokhd Badischen Centralbureau für Meteorologie und hydrographie*. Stich und Druck von Giesecke und Denriert, *Topographisches Institut, Leipzig, Berlin*.
- ESTEW M., 1983. Contribution à l'étude de la dynamique fluviale de la Bruche : l'impact des aménagements sur la dynamique du lit. *U.L.P. Strasbourg, U.E.R de Géographie, Centre de Géographie Appliquée, mémoire de Maîtrise*, 71 p. + annexes.
- ESTEW M., 1989. Etude et modélisation des relations aquifère-rivière dans le Ried de Coimar (Haut-Rhin, France). *Thèse de Doctorat, CEREG, ULP, Strasbourg I*, 233 p.
- FERGUSON R., 1981. Channel form and Channel changes. In: LEWIN J., *British Rivers*. George Allen Br Unwin, pp. 90-125.
- FERGUSON R.I., 1984. The threshold between meandering and braiding. In: SMITH K.V.H. (Ed.), *Proc. 1st Int. Conf. Hydr. Design*, Springer, pp. 6.15-6.29.
- FRIJSSELL C.A., LISS W.J., WARREN C.E. & HLTRLEY M.D., 1986. A hierarchical framework for stream habitat classification : viewing streams in a watershed context. *Environmental Management*, 10, 2, pp. 199-214.
- FRITSCH J.M., PROTCHE G., PAYARD A. & CLEMENT F., 1969. Etude des débits solides de la Dolier. Aménagement hydraulique de la Douer. *Ministère de l'Agriculture, Direction Départementale du Haut-Rhin, Service du Génie Rural des Eaux et des Forêts*, 2 tomes, 79 p. + ann.
- GRESSE L., 2000. Hydrologie et dynamique fluviale de l'Eberbach dans la forêt de Haguenau (Bas-Rhin). *ULP, Strasbourg I, Faculté de Géographie et d'Aménagement; CEREG UMR 7007 CNRS, Mémoire de DEA*, 81 p. + ann.
- GUEIDAN A., 2000. Etude de la qualité des rivières par la végétation aquatique. Mise en relation des facteurs abiotiques avec les phytocénoses aquatiques. Secteur de l'Uwald. *Mémoire de DUT, IUT Génie Biologique, ULP CEREG*, 28 p. + ann.
- GURNELL A.M., ANGOLD P. & GREGORY K.J., 1994. Classification of river corridors : issues to be addressed in developing an operational methodology. *Aquatic conservation - Marine and freshwater ecosystem*, 4, pp. 219-231.
- HAMES J. & SCHILLING A., 1994. Etude hydromorphologique du Ried de Ill. *Mémoire de Maîtrise, UER de Géographie, ULP Strasbourg, Centre de Géographie Appliquée*, 144 p.

- HARWOOD K. & BROWN A.G.; 1993. Fluvial processes in a forested anastomosing river : flood partitioning and changing flow patterns. *Earth Surface Processes and Landforms*, 18, pp. 741-748.
- HAWKINS C.P., KERSHNER J.L., BISSON P.A., BRYANT M.D., DECKER L.M., GREGORY S.V., McCULLOUGH D.A., OVERTON C.K., REWES G.H., STEEDMAN R.J. & YOUNG M.K., 1993. A hierarchical approach to classifying stream habitat features. *Fisheries*, 18, pp. 3-12.
- HEIDMANN F., SCHIRMER R. & PICHON F., 1998. Typologie des cours d'eau du bassin Rhin-Meuse. Compléments et consolidation. *Etudier d'Ecologie Rurale et Urbaine, Agence de l'Eau Rhin-Meuse*, 62 p.
- HERITAGE G.L., VAN NIEKERK A.W. & MOON B.P., 1997. A comprehensive hierarchical river classification system. *Geokoplos*, 4, pp. 75-84.
- HEY R.D. & THORNE C.R., 1986. Stable channels with mobile gravel beds. *Journal of Hydraulic Engineering*, 112, 8, pp. 671-689.
- HEY R.D., date ? Management and restoration of gravel-bed rivers. *Chapitre d'un livre intitulé Management and restoration of gravel-bed rivers ...* pp. 435-454.
- HJRTHC., 1971. Eléments d'explication à la formation des Rieds ello-rhénans au nord de Colmar du début du post-glaciaire à la canalisation du Rhin au XIX^e siècle. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Colmar*, 54, pp. 21-44; ,
- WULSTROM F., 1935. Studies of the morphological activity of rivers as illustrated by the River Fyris. *Bulletin of the Geological Institute University of Uppsala*, 25, pp. 221-527.
- HUET M., 1949. Aperçu des relations entre la pente et les populations piscicoles des eaux courantes. *Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie*, II, 3-4, pp. 332-351.
- HUGUES R.M. & LARSEN D.P., 1988. Ecoregions : an approach to surface water protection. *Journ. Wai. Poli. Control*, 60, 4, pp. 486-493.
- HUMBERT J. & MAIRE G., 1984. Lauch. *Encyclopédie de l'Alsace, Ed. Publitotal*, 8, pp. 4662-4663.
- HUMBERT J., MAIRE G., DESCOMBES R., NORMAND B. & CARBIENER R., 1984. *Encyclopédie de l'Alsace, Ed. Publitotal*, 7, pp. 4166-4173.
- HUMBERT J. & DESCOMBES R., 1985. Rhin. *Encyclopédie de l'Alsace, Publitotal*, 10, pp. 6391-6400.
- JUNG J. & SCHLUMBERGER C., 1936. Soulèvement des alluvions du Rhin par des intrusions salines diapires de Haute-Alsace. Déformation de la surface de la basse terrasse du Rhin et tectonique du bassin salifère de Haute-Alsace. *Bulletin du Service de la Carte géologique d'Alsace et de Lorraine, tome 3*.
- JURMUM.C. & ANDRLE R., 1997. Morphology of a wetland stream. *Environmental Management*, 21, 6, pp. 921-941.
- KERN K., 1992. Rehabilitation of streams in south-West Germany. In. BLOON P.J., CALOW P. & PEITS G.E., River conservation and management, *John Wiley & Sons*, pp. 321-335.
- KERSHNER J.L., SNIDER 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.
- KLLIAN P. & RESCH H., 1998. Caractérisation hydrogéomorphologique du réseau hydrographique de l'ülwald. *Centre d'Etudes et de Recherches Eco-Géographiques, ULP, Sîrasbourg*, 85 p. + ann.
- KLEIN J.P. & CARBIENER R., 1988. Effets des crues de l'Ille sur les phytocénoses aquatiques de deux rivières phréatiques du secteur de Benfeld et d'Erstein : la Lutter et le Bronnwasser. Intérêt des plantes aquatiques comme bioindicateurs d'eutrophisation. *Bulletin de l'Association Philomathique d'Alsace et de Lorraine*, 24, pp. 3-34.
- KLEIN J.P., VANDERPOORTEN A., SANCHEZ-PEREZ J.M. & MAIRE G., 1997. La cartographie des hydrophytes appliquée à l'étude des écosystèmes fluviaux : un outil d'analyse pour la restauration des anciens chenaux rhénans. *Lajeunia, Nouvelle série N° 153*, pp. 1-33.
- KNIGHTON A.D., 1999. Downstream variation in stream power. *Geomorphology*, 29, 3-4, pp. 293-306.
- KNIGHTON A.D. & NANSON G.C., 1993. Anastomosis and the continuum of Channel pattern. *Earth Surface Processes and Landforms*, 18, pp. 613-625.
- KNIGHTON A.D. & NANSON G.C., 2000. Waterhole form in the anastomosing Channel system of Cooper Creek, Australia. *Geomorphology*, 35, pp. 101-117.

- KONDOLF G.M., 1995. Cases studies and reviews. Geomorphological stream Channel classification in aquatic habitat restoration : uses and limitations. *Aquatic Conservation - Marine and Freshwater Ecosystems*, 5, pp. 127-141.
- LARGE A.R.G., WADE P.M., PAUTOU G. & AMOROS C., 1993. Producteurs et productions primaires; In. AMOROS C. et PETS G.E. (Eds), Hydrosystèmes fluviaux, chap. 6. *Masson, Collection d'écologie* 24, pp. 107-124.
- LARSEN D.P., OMERNIK J.M., HUGUES R.M., ROHM C.M., WHITTIER T.R., KWNEY A.J., GALLANT A.L. & DUDLEY D.R., 1986. Correspondance between spatial patterns in fish assemblages in Ohio streams and aquatic ecoregions. *Environmental Management*, 10, 6, pp. 815-828.
- LAUTERBORN R., 1925. Die Giessen des Oberrheins als Aufwuchsgewässer für den Lachs. *Schweizerische Fischereizeitung*, 33, pp. 118-122.
- LECCE S.A., 1997. Nonlinear downstream changes in stream power on Wisconsin's Blue River. *Annals of the Association of American Geographers*, 87, 3, pp. 471-486.
- LEOPOLD L.B. & MADDOCK T., 1953. The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications. *U. S. Geological Survey Professional Paper* 252, 57 p.
- LEOPOLD L.B. & WOLMAN M.G., 1957. River Channel patterns-braided, meandering and straight. *U. S. Geological Survey Professional Paper*, 282B, pp. 39-85.
- LEOPOLD L.B., WOLMAN M.G. & MILLER J.P., 1964. Fluvial processes in geomorphology. Ed. W. H. Freeman and Company, 522 p.
- Le ROUGE G.L. & DIEN C., 1802. Carte de Georges Louis Le Rouge et Charles DiEN. Tiré de CRDP, 1986-1987, Dossier Maître N° 14, u No; Riehn.
- LEVY M., 1982. Les aménagements du cours du Rhin au fil des siècles dans la plaine Alsace-Bade et en particulier dans la région Benfeld-Rhinau. *Mémoire de Mallrise, UFR de Géographie, Strasbourg*, 77 p.
- LLAURADO DURAN F., 1981. Contribution à l'étude des problèmes hydromorphologiques du cône de déjection de la Thur. *DEA Aménagement du Milieu Naturel, Université Louis Pasteur de Strasbourg*, 19 p. + ann.
- 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, pp. 581-586.
- MAIRE G., 1966. La basse-Bruche: cône de piedmont et dynamique actuelle. *Université de Strasbourg Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Centre de Géographie Appliquée*, 133 p. + ann.
- MAIRE G., 1977. Façonnement des berges, sinuosité et méandres : quelques aspects de dynamique fluviale de la Saulx m a i s e. *Recherches Géographiques à Strasbourg*, 4, pp. 5-21.
- MAIRE G., 1986. Thur. *Encyclopédie de l'Alsace, Ed. Publitotal*, 12, pp. 7340-7344.
- MAIRE G. & WILMS P., date inconnue. Etude morphodynamique de la Thur en aval de Thann. Conséquences de la crue du printemps 1983. *Ministère de l'Agriculture, Direction Départementale de l'Agriculture, Université Louis Pasteur, Centre de Géographie Appliquée*, 6 p.
- MAIRE G. & CLOOTS A.R., 1984. Les modifications de l'équilibre morphodynamique du lit de la Thur, en relation avec l'exploitation des mines de potasse d'Alsace. *Revue Géographique de l'Est*, 2-3, pp. 237-247.
- MAIRE G. & WILMS P., 1984. Etude hydro-géomorphologique du Giessen. Détermination de secteurs homogènes. *Région Alsace, Université Louis Pasteur, Centre de Géographie Appliquée, UA 95 du CNRS; Strasbourg*, 78 p. + annexes + cartes.
- MAIRE G., WILMS P., GEYER B., ANTHONY E. & SIRA C., 1985. Etude hydro-géomorphologique de la Liepvretie. Détermination de secteurs homogènes. *Région Alsace, Université Louis Pasteur, Centre de Géographie Appliquée, UA 95 du CNRS, Strasbourg*, 38 p. + annexes + cartes.
- MAIRE G. & WILMS P., 1986. Transformation d'un système fluvial sous l'effet des aménagements hydrauliques : les réajustements morphodynamiques successifs du cours moyen de la Fecht (Alsace-France), depuis deux siècles. *Actes du colloque " Journées d'Hydrologie de Strasbourg, crues et inondations, 16, 17 et 18 octobre 1986 "*, pp. 295-324.

- MAIRE G. & BLUMENROEDER D., 1987. Étude des écoulements du Ried alsacien. Rapport de **fin** des travaux. *Agence de l'Eau Rhin-Meuse, Metz, Centre d'Etudes et de Recherches Eco-Géographiques, C'LP, Sirasbourg*, 5 p. + ann.
- MAIRE G. et SANCHEZ-PEREZ J.M., 1992. Influence des aménagements hydrauliques du Rhin sur le fonctionnement hydrologique des forêts riveraines d'Alsace : l'exemple du secteur de l'île de Rhinau. *Bulletin de la Société Industrielle de Mulhouse*, 824, pp. 9-20.
- MALAVOI, J.R., 1989. Typologie des **facies** d'écoulement ou unités morphodynamiques des cours d'eau à haute énergie. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture N° 315*, pp. 189-210.
- MALY L. & BRAUN C., 1994. Avifaune et qualité du milieu. Tome 4 : Département du Haut-Rhin. *Agence de l'Eau Rhin-Meuse, Ligue pour la Protection des Oiseaux*, 23 p.
- MALY L., 1995. Avifaune et qualité du milieu. Tome 1 : Synthèse. *Agence de l'Eau Rhin-Meuse, Ligue pour la Protection des Oiseaux*, 71 p.
- MEIER-BROOK C., 1960. Der Trullygraben, ein bemerkenswertes Gewässer **im** Unterelsaß. *Mitt. bad Landesver. Natürkunde u. Natenschutz*, 7, 6, pp. 435-439.
- MIGAYROU J., 1985. Méthodologie d'estimation des débits de **certaines** cours d'eau phréatiques de la plaine d'Alsace. *Hydrogéologie*, 4, pp. 293-298.
- MIGAYROU, 1990. Quelques aspects des échanges nappes rivières **dans** la plaine **l'Alsace**. *Bulletin de la Société Industrielle de Mulhouse* 817, 2, pp. 55-60.
- MILLER J.R. & RÖHNER J.B., 1996. Discussion. An examination of the Rosgen classification of natural rivers. *Catena*, 27, pp. 295-299.
- Ministère de l'Agriculture, Direction Départementale du Haut-Rhin, Service du Génie Rural, des **Eaux** et des Forêts, 1970. Aménagement hydraulique de la vallée de la Thur. Étude monographique du bassin versant. 215 p. + ann. + cartes.
- MONTGOMERY D.R. & BUFFINGTON J.M., 1998. Channel processes, classification, and response. **In**. NAIMAN R.J. & BILBY R.E. (Eds), River ecology and management. Lessons from the Pacific Coastal Ecoregion. *Springer*, pp. 134-2.
- MOSLEY M.P., 1981a. Semi-determinate hydraulic geometry of river channels, South Island, New Zealand. *Earth Surface Processes and Landforms*, 6, pp. 127-137.
- MOSLEY **M.P.**, 1987. The classification and characterization of rivers. **In**. RICHARDS K. (Ed), River channels, environment and process. *Basil Blackwell*, pp. 295-320.
- MLJLLER S., 1990. Une séquence de groupements végétaux bioindicateurs d'eutrophisation croissante des cours d'eau faiblement minéralisés des Basses Vosges gréseuses du Nord. *C.R Acad Sci. Paris*, 310, pp. 509-514.
- NAJMAN R.J., 1998. Biotic stream classification. **In**. NAIMAN R.J. & BILBY R.E. (Eds), River ecology and management. Lessons from the Pacific Coastal Ecoregion. *Springer*, pp. 97-119.
- NAIMAN R.J., LONZARICH D.G., BEECHIE T.J. & RALPH S.C., 1992. General principles of classification and the assessment of conservation potential rivers. **In**. BOON P.J., CALOW P. & PE'ITS G.E. (Eds), River Conservation and Management. *John Wiley & Sons*, pp. 93-123.
- NANSON G.C. & CROKFI J.C., 1992. A genetic classification of floodplains. *Geomorphology*, 4, pp. 459-486.
- NANSON G.C. & KNIGHTON A.D., 1996. Anabranching rivers : their cause, character and classification. *Earth Surface Processes and Landform*, 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.
- OTTO A., 1991. Grundlagen einer morphologischen Typologie des Bache. *Institut für Wasserbau und Kulturtechnik, Universität Fridericiana in Karlsruhe, Mitteilungen Heft 180, Beiträge zur naturnahen Umgestaltung von Fließgewässern*, pp. 1-94.
- PAUTRAT H., 1990. Problèmes d'hydrographie ello-rhénane. La dynamique fluviale de l'île domaniale entre Coimar et Sélestat. *Mémoire de DEA "Systèmes Spatiaux et Aménagements Régionaux", ULP, CEREG, Strasbourg*, 57 p. + 3 cartes.
- PETIT, F., 1995. Régime hydrologique et dynamique fluviale des rivières ardennaises, **In**. DEMOULIN A. (Ed), L'Ardenne, **Essai** de Géographie Physique, Livre en hommage au Professeur A. PISSAKI. *Laboratoire d'Hydrographie et de Géomorphologie fluviale, Université de Liège*, pp. 194-223.

- PETIT F. & PAUQUET A., 1997. Bankfd discharge recurrence hterval in gravel-bed rivers. *Earth Surface Processes and Landforms*, 22, pp. 685-693.
- PIERRON P., 1989-1990. **Processus** d'ensablement des cours d'eau des Vosges du Nord et problème d'aménagement : exemple de la Moder. *Mémoire de Maîtrise, UFR de Géographie, Université de Nancy U Parc Naturel Régional des Vosges du Nord*, 144 p.
- PIEGAY H. & SANCHEZ PEREZ J.M. (coordonnateurs), 2001. Dynamique contemporaine de la sédimentation dans la forêt d'inondation du **Rhin**, cas de Rhiau et d'Erstein. *Programme PROSE, INSU, CNRS*,
- RICHARDOTCOULET M. & GREENWOOD M.T., 1993. invertébrés aquatiques. In. AMOROS C. & PEITS G.E. (Eds), Hydrosystèmes fluviaux, *Masson, Collection d'écologie* 24, pp. 125-149.
- RICHARDS K., 1982. Rivers. Form and process in alluvial channels. *Methuen & Co. Ltd.*, 358 p.
- ROBACH F., THIEBAUT G., TREMOLIERES M. & MULLER S., 1996. A reference system for continental running waters : plant communities as bioindicators of increasing eutrophication in alkaline and acidic waters in north-east France. *Hydrobiologia*, 340, pp. 67-76.
- ROCHE J., 1989. Un gradient biologique : la succession des oiseaux nicheurs le long des cours d'eau. *Acta Oecologica/Oecologia Generalis*, 10, 1, pp. 37-50.
- ROSGEN D.L., 1994. A classification of natural rivers. *Caiena*, 22, 3, pp. 169-199.
- ROSGEN D.L., 1996b. Applied river morphology. *Wüdlund Hydrology, Colorado*, 390 p.
- ROUX A.L. & COPP G.H., 1993. Peuplements de poissons. In. AMOROS C. & PFITS G.E. (Eds), Hydrosystèmes fluviaux, *Masson, Collection d'écologie* 24, pp. 151-166.
- RUST B.R., 1978. A classification of alluvial Channel systems. In. **MAILL** 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 Strasbourg ULP, CEREG URA 95 CNRS*, 73 p. + ann.
- SCHMITT L., 1996. Approche bibliographique pour une typologie hydro-géomorphologique des cours d'eau. *Mémoire de DEA, UFR de Géographie de Strasbourg ULP, CEREG URA 93 CNRS*, 108 p.
- SCHMITT L., 2000. Etude de la typologie des cours d'eau alsaciens: expertise scientifique et consolidation des acquis. Tâche 2 : Pertinence de la méthode des écorégions pour la définition d'une typologie régionale. Etude de faisabilité. *Centre d'Etudes et de Recherches Eco-Géographiques, Agence & l'Eau Rhin-Meuse, janvier 2000*, 23 p.
- SCHMITT L., **MAIRE** G. & HÜMBERT J. 2000. Typologie hydro-géomorphologique des cours d'eau: vers un modèle adapté à la gestion du milieu physique des rivières du versant sud-occidental du fossé rhénan. *Revue de Géographie de Lyon*, 75, 4, pp. 347-363.
- SCHMITT L., **MAIRE** G. & HÜMBERT J. 2001. La puissance fluviale : définition, intérêt et Limites pour une typologie hydro-géomorphologique de rivières. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 45, 2, pp. 201-224.
- SCHNITZLER A., EGLIN I., ROBACH F. & TREMOLIERES M., 1996. Response of aquatic macrophyte communities to levels of P and N nutrients in an old swamp of the Upper Rhine plain (Eastern **France**). *Ecologie*, 27, 1, pp. 51-61.
- SCHUMM S.A., 1960. The shape of alluvial channels in relation to sediment type. *US. Geological Survey Professional Paper 352-B*, pp. 17-30.
- SCHUMM S.A., 1963. A tentative classification of alluvial river channels. *United States Geological Survey, Geological Survey circular, Washington, DC* 477, pp. 1-10.
- SCHUMM 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., 1981. Evolution and response of the fluvial system, sedimentologic implications. *The Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special publication*, 31, pp. 19-29.
- SCHUMM S.A., 1985. Patterns of alluvial rivers. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 13, pp. 5-27.
- SCHUMM S.A. & LICHTY R.W., 1965. Time, space and causality in geomorphology. *American Journal of Science*, 263, pp. 110-119.

- SCHUMM S.A., DUMONT J.F. & HOLBROOK J.M., 2000. Active tectonics and alluvial rivers. *Cambridge University Press*, 215 p.
- SIMLER L. & MILLOT G., 1967. Le réseau hydrographique alsacien à l'époque pliocène. *Bulletin de la Carte géologique d'Alsace et de Lorraine*, 20, 3, pp. 159-165.
- SIMLER L., VALENTIN J. & DUPRAT A., 1979. La nappe phréatique de la plaine du Rhin en Alsace. *Université Louis Pasteur, Institut de Géologie, CNRS, Mémoire N° 60*, 266 p. + 2 cartes. disponible chez BOUCHTI
- SIMONSON T.D., LYONS J. & KANEHL P.D., 1994. Quantifying fish habitat in streams : transect spacing, sample size, and a proposed framework. *North American Journal of Fisheries Management*, 14, pp. 607-615.
- SMITH D.G. & SMITH N.D., 1980. Sedimentation in anastomosed river systems : examples from alluvial valleys near Banff, Alberta. *Journal of sedimentary Petrology*, 50, 1, pp. 151-164.
- SMITH N.D., MCCARTHY T.S., ELLERY W.N., MERRY C.L. & RÜTHER H., 1997. Avulsion and anastomosis in the panhandle region of the Ohvango Fan, Botswana. *Geomorphology*, 20, pp. 49-65.
- STRAHLER A.N., 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions, American Geophysical Union*, 38, 6, 913-920.
- Syndicat de l'Ischert*, 1846. Premier procès verbal du Syndicat de l'Ischert, 6 p.
- TABACCHI E., 1996. Identification des écorégions hydrologiquement homogènes du territoire national. Dernière phase : délimitation multicritères des écorégions Vol. II. *Etude Inter-Agences, Agence de l'Eau Rhin-Meuse, Centre d'Ecologie des Systèmes Fluviaux du CNRS*, 40 p.
- THIEBAUT G., 1997. Effets des perturbations liées à l'eutrophisation et l'acidification des cours d'eau des Vosges du Nord sur les phytocénoses aquatiques. *Université de Metz, UFR SciFA, Laboratoire de phytoécologie, Doctorat*, 208 p. + fig., tabl. et ann.
- THIEBAUT G. & MILLER S., 1998a. Les communautés de macrophytes aquatiques comme descripteurs de la qualité de l'eau : exemple de la rivière Moder (Nord-Est France). *Annales de Limnologie*, 34, 2, pp. 141-153.
- THIEBAUT G. & MULLER S., 1998b. The impact of eutrophication on aquatic macrophyte diversity in weakly mineralized streams in the Northern Vosges mountains (NE France). *Biodiversity and Conservation*, 7, pp. 1051-1068.
- THIEBAUT-GEORGE F., LONJARET E., MAIRE G., SCHMITT L. & TRATTMANN J. 2001. Etude du phénomène d'ensablement sur la Moder dans les Vosges du Nord. Rapport définitif *Office National des Forêts, Centre d'Etudes et de Recherches Eco-Géographiques, Parc Naturel Régional des Vosges du Nord, Contrat de Rivière Moder*, 93 p. + ann.
- THORNE C.R., 1997. Channel types and morphological classification. In. THORNE C.R., HEY R.D. & NEWSON M.D. (Eds), *Applied fluvial geomorphology for river engineering and management. John Wiley & Sons*, pp. 175-222.
- TOOTH S. & NANSON G.C., 1999. Anabranching rivers on the Northern Plains of arid central Australia. *Geomorphology*, 29, 3-4, pp. 211-233.
- TOOTH S. & NANSON G. C., 2000. The role of vegetation in the formation of anabranching channels in a ephemeral river, Northern plains, arid central Australia. *Hydrological Processes*, 14, pp. 3099-3117.
- TOUREILLE VERCIER C.L., 1992. Etude phytoécologique d'un cours d'eau phréatique eutrophe dans la plaine centrale d'Alsace : le cas de l'Ischert. *ULP Strasbourg, UFR des Sciences Pharmaceutiques, Mémoire de Doctorat*, 84 p. + ann.
- TREMOLIERES M., EGLIN I., ROECK U. & CARBIENER R., 1993. The exchange process between river and groundwater on the Central Alsace floodplain (Eastern France). I. The case of the canalised river Rhine. *Hydrobiologia* 254, pp. 133-148.
- TREMOLIERES M., ROECK U. KLEIN J.P. & CARBIENER R., 1994a. The exchange process between river and groundwater on the central Alsace floodplain (Eastern France). II. The case of a river with functional floodplain. *Hydrobiologia*, 273, pp. 19-36.
- TREMOLIERES M., CARBIENER R., ORTSCHER A. & KLEIN J.P., 1994b. Changes in aquatic vegetation in Rhine floodplain streams in Alsace in relation to disturbance. *Journal of Vegetation Science*, 5, pp. 169-178.

Annexe 1

Pertinence de la méthode des écorégions pour la définition d'une typologie régionale

Etude de faisabilité



AGENCE DE L'EAU
RHIN-MEUSE

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

Tâche 2 : Pertinence de la méthode des écorégions pour la définition
d'une typologie régionale

Etude de faisabilité

Janvier 2000

Laurent SCHMTi

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, nous tenons à remercier les personnes qui ont bien voulu nous faire part de leurs connaissances et de leur expérience sur les différents thèmes abordés par cette présente étude de faisabilité :

M. **E. TABACCHI** (CESAC)

M. G. **MAIRE** (CEREG)

M. M. WÜRTZ (CEREG-ENGEES)

M. **N. KEBEDE** (CEREG)

Mlle N. **SEFERT** (CEREG)

M. J. HIRSCH (Laboratoire Images et Villes, Faculté de Géographie de Strasbourg)

Que Mme O. **OPERTOL** (Faculté de Géographie de Strasbourg) soit également remerciée pour la rapidité des travaux de reproduction.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	4
INTRODUCTION	6
1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DE LA PRÉSENTE ÉTUDE DE FAISABILITÉ	6
1.1. OBJECTIFS DU TRAVAIL SUR LES ÉCORÉGIONS	6
1.2. OBJECTIFS DE LA PRÉSENTE ÉTUDE DE FAISABILITÉ	7
2. LA ZONE D'ÉTUDE	7
3. CONTEXTE SCIENTIFIQUE ET INTÉRÊT DE L'ÉTUDE ENVISAGÉE (revue bibliographique succincte).....	7
3.1. PRINCIPES GÉNÉRAUX.....	7
3.2. EXPÉRIENCES PRATIQUES	8
3.3. CONCLUSION : PERTINENCE D'UNE ÉTUDE SUR LES ÉCORÉGIONS HYDRO-GÉOMORPHOLOGIQUES DE LA BORDURE ALSACIENNE DU FOSSÉ RHÉMAN	10
4. SÉLECTION ET JUSTIFICATION DES PLANS D'INFORMATION A RETENIR	11
4.1. REMARQUES GÉNÉRALES.....	11
4.1.2. Le substrat.....	12
4.1.2.1. Hypsométrie (altitude et pente).....	12
4.1.2.2. Les formations superficielles	12
4.1.2.3. L'hydrolithologie	12
4.1.3. L'occupation du sol.....	12
4.1.4. Le climat	13
4.1.4.1. Les précipitations moyennes annuelles	13
4.1.4.2. Les réplines pluviométriques	13
5. FAISABILITÉ MÉTHODOLOGIQUE ET TECHNIQUE	14
5.1. MÉTHODES ENVISAGEABLES	14
5.1.1. Méthode adaptée à une résolution spatiale de 100m : Méthode 1.....	14
5.1.1.1. Étapes.....	14
5.1.1.2. Intérêts et limites.....	15
5.1.2. Méthode adaptée à la résolution spatiale des zones hydrographiques : Méthode 2.....	16
5.1.2.1. Étapes.....	16
5.1.2.2. Intérêts et limites	17
5.1.3. Méthode fondée sur un découpage écorégional de type « expert » : Méthode 3	17
5.1.3.1. Étapes.....	17
5.1.3.2. Intérêts et limites.....	18
5.1.4. Méthode inductive fondée sur l'analyse des données de terrain : Méthode 4	18
5.1.4.1. Étapes.....	18
5.1.4.2. Intérêts et limites.....	19
5.2. DISCUSSION.....	19
5.2.1. De la prise en compte des objectifs	19
5.2.2. ... au choix méthodologique.....	20
5.3. POSSIBILITÉS ET CONTRAINTES TECHNIQUES DU CEREG	21
CONCLUSION	21
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	23

INTRODUCTION

Le présent travail cherche à présenter l'intérêt et la faisabilité méthodologique et technique d'un travail sur la définition des écorégions de la bordure alsacienne du fossé rhénan pour la définition d'une typologie abiotique régionale des cours d'eau. Remarquons que, dans le cadre de la présente étude, nous entendons par le terme « écorégion » une « **région homogène sur le plan du fondionnement hydro-géomorphologique du réseau hydrographique qui la parcourt** ». Une écorégion n'est donc pas, dans le cadre de notre problématique, une région écologique, mais un espace *hydro-géomorphologique*. Néanmoins, nous emploierons le terme « écorégion » par commodité rédactionnelle.

Nous nous attacherons tout d'abord à préciser le cadre scientifique du travail envisagé, puis nous tenterons d'identifier les plans d'information nécessaires à la réalisation d'un découpage régional fondé sur des analyses statistiques multivariées. Enfin, nous présenterons différentes méthodologies envisageables et estimerons leur faisabilité technique. Ceci nous permettra d'évaluer et de discuter la pertinence de chacune des options évoquées au vu des objectifs de la convention d'étude.

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DE LA PRESENTE ETUDE DE FAISABILITE

1.1. OBJECTIFS DU TRAVAIL SUR LES ECOREGIONS

L'objectif général du point 2 de la convention d'étude Agence de l'Eau - CEREG « Pertinence de la méthode de définition des écorégions mise au point au niveau national par les Agences pour la définition d'une typologie régionale » est « ...d'apprécier les éventuelles limites d'une application du modèle écorégional dans une optique de définition de typologie de cours d'eau. Le CEREG devrait se rapprocher du CESAC pour conduire cette tâche

Une adaptation de la maille de travail serait opérée en vue de :

- *renseigner des plans d'information sur les zones ou les sous-secteurs hydrographiques du bassin du Rhin (sur la base des fonds numérisés par le CESAC dans le cadre de l'étude inter-agences) ;*
- *appliquer le modèle écorégional aux zones élémentaires ainsi décrites.*

Il est précisé que le travail d'interprétation viserait à mettre en évidence l'intérêt, ainsi que les limites d'une telle approche vis-à-vis de l'établissement d'une typologie des cours d'eau. En particulier, il s'agirait :

- *d'apprécier la nécessité d'introduire des plans d'information spécifiques aux caractéristiques hydrologiques des régions élémentaires ;*
- *de confronter une telle approche avec les résultats obtenus par le CEREG dans le cadre de la démarche adoptée pour son programme de recherche.*

Dans ce cadre s'est tenue une réunion de travail le 24 avril 1999 à laquelle ont participé G. DEMORTIER, E. TABACCHI et L. SCHMITT afin de préciser les modalités du travail qu'il conviendrait de réaliser au sujet de la définition des écorégions d'Alsace. A l'issue de cette réunion, il a été convenu de réaliser dans un premier temps une étude préliminaire visant à évaluer la faisabilité de ce travail, ce qui constitue le présent document.

1.2. OBJECTIFS DE LA PRESENTE ETUDE DE FAISABILITE

Les objectifs spécifiques de la présente étude de faisabilité sont :

- d'estimer l'intérêt de définir des écorégions homogènes sur le plan de leur fonctionnement hydro-géomorphologique sur une zone d'étude comme la bordure alsacienne du fossé rhénan (8.000 km², échelle de perception a priori de 1/1250.000) ;
- de définir si les plans d'information nécessaires sont disponibles et quel effort serait nécessaire pour réaliser l'étude envisagée, c'est-à-dire pour :
 - organiser, digitaliser et homogénéiser les couches d'information ;
 - effectuer les traitements de données ;
 - aboutir au travail final souhaité sous diverses formes (cartes, couches d'informations et bases de données géo-référencées, commentaires).
- de préciser les contraintes techniques liées à ce travail par rapport aux moyens du CEREG ;
- enfin, de mettre en balance les intérêts de ce travail avec l'effort et le temps jugés nécessaires pour le mener à bien, vis-à-vis de la mise en place d'une typologie hydro-géomorphologique de cours d'eau dans un cadre régional.

Notons pour finir qu'une extension des conclusions de ce travail à un échelon national pourrait être discutée.

2. LA ZONE D'ETUDE

Bien qu'elle en soit très voisine, notre zone d'étude ne reprend pas directement les limites administratives de l'Alsace. En effet, pour une approche comme la nôtre consacrée à une caractérisation de bassins versants, il s'avère indispensable de travailler plus précisément sur la bordure alsacienne du fossé rhénan, ou, en d'autres termes, sur le bassin français du Rhin Supérieur. Par rapport aux limites administratives alsaciennes, c'est donc l'intégralité des bassins de la Bruche, de la Zorn et de la Moder qui sont pris en compte, alors que la partie alsacienne du bassin de la Sarre, appartenant à la bordure occidentale des Vosges, est exclue. Cette zone d'étude correspond donc très précisément au «bassin Rhin» de la codification hydrographique du bassin Rhin-Meuse (code bassin : A). Etant donné que ce bassin comporte 33 sous-secteurs et 193 zones, il paraît nécessaire de retenir comme unité spatiale élémentaire la zone hydrographique car l'emploi des sous-secteurs risquerait d'estomper, voire de masquer, une partie des informations recherchées. Ce principe devrait toutefois être réajusté dans le cas où une extension de ce travail à d'autres Agences serait envisagée. En effet, l'échelle de définition des zones hydrographiques n'est pas homogène d'une Agence à l'autre.

3. CONTEXTE SCIENTIFIQUE ET INTERET DE L'ETUDE ENVISAGEE (revue bibliographique succincte)

3.1. PRINCIPES GENERAUX

La détermination d'unités spatiales homogènes et, de façon générale, la régionalisation, est une problématique classique en géographie (GRIGG, 1965), y compris en hydrologie (DUBREUIL, 1965). En général, ce type d'approche vise à rendre possible la transposition d'informations locales vers un espace d'une certaine extension considéré comme

homogène vis-à-vis d'une thématique donnée. GFUGG (1965) montre, dans une mise au point sur la question, que la régionalisation peut être assimilée à une classification et qu'elle doit, par conséquent, en accepter certains principes : par exemple elle ne peut répondre qu'à un objectif précis et l'utilisation de plusieurs principes (critères) de division implique que ces derniers soient hiérarchisés. Pour **DUBREULL** (1965), la délimitation de régions hydrologiquement homogènes doit reposer, par ordre d'importance décroissant, sur le climat, la perméabilité du bassin, le relief et la couverture végétale. **CLOOTS-HIRSCH** et **MAIRE** (1980) mettent la morphologie fluviale en relation avec la lithologie, la morphologie des vallées et le type d'occupation du sol. **LOTSPEICH** (1980), partant du principe énoncé par **E (1975)** que les milieux aquatiques sont intimement dépendants de leur bassin de drainage, est l'un des premiers auteurs à avoir suggéré de baser la classification des cours d'eau sur une caractérisation préalable de leur bassin. Pour cet auteur, une telle classification doit reposer sur des facteurs d'«état», c'est-à-dire sur les causes influençant le fonctionnement des **cours d'eau**. **Les 3 niveaux scalaires proposés sont :**

- a. le macroclimat et le substrat (facteurs d'état), qui apportent aux systèmes fluviaux de l'énergie, de l'eau et du matériel mobilisable ;
- b. le climat local, le sol et la végétation terrestre (facteurs secondaires), qui expliquent l'aspect de mosaïque des bassins versants ;
- c. les cours d'eau (agencements du réseau hydrographique, morphologie du lit), qui <<répondent>> aux facteurs placés aux niveaux hiérarchiques supérieurs.

LOTSPEICH et **PLATTS** (1982) détaillent ultérieurement ce système hiérarchique et soulignent qu'il est primordial de ne prendre en compte que des caractéristiques naturelles des bassins. **BRUSSOCK** et al. (1985), en accord avec **LOTSPEICH** et **PLATTS** (1982) quant au poids accordé aux bassins versants pour classer les cours d'eau, prennent également en compte les gradients morphologiques longitudinaux des cours d'eau et montrent que ces derniers sont significativement différents dans les 7 écorégions des Etats-Unis qu'ils définissent. Dans le prolongement de ces approches pionnières ainsi que de la hiérarchie des facteurs de contrôle des systèmes fluviaux de **SCHUMM** et **LICHTY** (1965), **FRISSEL** et al. (1986) proposent un modèle conceptuel de classification des cours d'eau à 5 niveaux hiérarchiques extrêmement détaillé. Initialement adapté à des cours d'eau d'ordre 3 selon **STRAHLER** (1957), les principes énoncés furent très fréquemment utilisés, y compris pour des cours d'eau d'ordre beaucoup plus élevé.

3.2. EXPERIENCES PRATIQUES

(tableau 1)

L'un des premiers découpages régionaux des Etats-Unis fut proposé par **BALEY** (1976, cité par **BAEY**, 1983), puis repris et adapté par **OMERNIK** (1987) dans une perspective de gestion de la qualité de l'eau. A une échelle plus grande, des écorégions de certains Etats nord-américains furent définies à des fins de gestion des milieux aquatiques. Généralement les approches américaines sont de type déductif; elles consistent :

- a. à délimiter, par une méthode de type «expert», des écorégions sur la base de l'étude de cartes du climat, de la géologie, du relief, de la végétation ou de l'occupation du sol ;
- b. puis à tester le découpage à partir de traitements statistiques de données de terrain ;
- c. ... pour valider ou, le cas échéant, rejeter la régionalisation.

Respectivement, les écorégions proposées dans les Etats de l'Oregon, de l'Ohio et de l'Arkansas sont validées à partir de données relatives à l'ichtyofaune (HUGHES et al., 1987 ; LARSEN et al., 1986) ainsi qu'à la morphologie fluviale et à la qualité de l'eau (ROHM et al., 1987). Reposant au contraire sur une méthodologie « remontante », l'approche de HAWKES et al. (1986) se fonde sur l'exploitation de données piscicoles et relatives à l'environnement des cours d'eau de l'Etat du Kansas à partir desquelles ont pu être définies des écorégions « piscicoles ». On voit donc que les données de terrain peuvent être utilisées de diverses manières pour valider (méthode déductive), ou induire (méthode inductive) des découpages écorégionaux.

En France, le zonage des régions phyto-écologiques de DUPIAS et REY (1985) propose un système de classification des régions écologiques françaises à 3 niveaux hiérarchiques adapté à l'échelle du 1/1.000.000^e. Bien que reposant exclusivement sur des bases écologiques, ce découpage a été largement utilisé pour des régionalisations hydrologiques, hydro-géomorphologiques, hydro-écologiques (Agence de l'Eau Rhin-Meuse, 1991 ; WASSON et al., 1993a, 1993b, etc. ; TABACCHI, 1995, 1996). Ainsi, la classification des bassins versants du protocole de collecte de données sur les végétaux aquatiques des eaux courantes (protocole « MEV », Agence de l'Eau Rhin-Meuse et al., 1991) repose, en plus des travaux de DUBREUIL (1965) et de ZUMSTEIN (1976), sur le découpage de DUPIAS et REY. Par ailleurs, les travaux menés par le CEMAGREF de Lyon et le CRENAM de St Etienne destinés à définir les « orientations fondamentales de gestion » du bassin ligérien (120.000 km²) repose dans un premier temps sur la détermination d'hydro-écorégions (approche de type « expert ») à partir de la géologie, du relief, du climat et du découpage de DUPIAS et REY (WASSON et al., 1993a ; WASSON et al., 1993b ; WASSON, 1996 ; etc.). Dans un second temps, le découpage proposé a été testé et partiellement validé. En effet, les variations amont-aval de la variabilité des crues et des étiages, de la morphologie des fonds de vallée (ANDRIAMAHEFA et MALAVOI, 1993), de l'habitat piscicole (COHEN, 1998) et de la distribution des poissons apparaissent comme significativement différents entre les principales hydro-écorégions du bassin de la Loire (WASSON, 1996).

Contrairement aux approches présentées ci-dessus, le modèle écorégional national des Agences de l'Eau élaboré par le CESAC (TABACCHI, 1995, 1996) repose sur des méthodes « objectives » fondées sur des analyses statistiques multivariées (partition par arbre de régression, classification hiérarchique ascendante) appliquées à des unités spatiales élémentaires (le niveau le plus fin du maillage de DUPIAS et REY). Ces unités, au nombre de 660, sont renseignées d'après 10 variables. Alors que la variabilité totale interne de chaque unité est connue, leur variabilité spatiale ne peut pas être estimée. Différents découpages écorégionaux peuvent être obtenus en fonction des objectifs des utilisateurs (choix des variables prises en compte parmi les 10 variables renseignées, choix du nombre de classes recherchées, choix de la méthode statistique). Ce travail constitue donc un modèle d'une grande souplesse, à usages potentiels multiples, dont la robustesse pourra être testée au fur et à mesure des utilisations qui en seront faites. Compte tenu de la résolution spatiale de cette approche, les découpages obtenus ne peuvent être pertinents que sur des superficies relativement importantes (de l'ordre de 100.000 km² et plus), incompatibles avec notre zone d'étude. En effet, seulement neuf Unités élémentaires de DUPIAS et REY apparaissent dans notre zone d'étude (cette zonation apparaît exacte dans les grandes lignes, même si les milieux alluviaux et les secteurs recouverts de loess sont mal identifiés). De fait, comme le modèle national agglomère de façon plus ou moins importante ces régions élémentaires, les découpages obtenus dans notre zone d'étude ne peuvent être qu'inappropriés à la définition d'une typologie régionale de cours d'eau.

3.3. CONCLUSION: PERTINENCE D'UNE ETUDE **SUR LES** ECOREGIONS **HYDRO-GEOMORPHOLOGIQUES DE LA BORDURE ALSACENNE DU FOSSE RHENAN**

Après un exposé succinct des fondements théoriques de la classification des bassins en vue d'une typologie de rivières, nous avons montré qu'il était possible de regrouper les méthodes de découpages écorégionaux existantes en trois catégories :

- a. celles qui cherchent à tester, avec des données de terrain, un découpage défini empiriquement ;
- b. celles qui cherchent à induire des découpages écorégionaux à partir des données de terrain ;
- c. la méthode des Agences de l'**bu** françaises qui se fonde sur des classifications « objectives » à partir de plusieurs couches d'information.

Ces trois catégories d'approches sont méthodologiquement envisageables sur notre zone d'étude. Cependant, si une approche similaire à celle du modèle national devait être adoptée, une adaptation de la maille de travail s'imposerait.

Comme le montre le tableau 1, les surfaces d'études des travaux réalisés sur les écorégions sont généralement comprises dans une gamme allant d'environ 1.000 km² à plus de 9.000.000 km². Or, la superficie de notre zone d'étude (8.000 km²) est comprise dans cette fourchette. Cet espace semble donc convenir à un travail sur les écorégions, d'autant plus qu'il montre une grande variété d'unités géographiques. Comme notre échelle de perception est malgré tout assez grande par rapport à la majorité des études menées sur les écorégions, le travail envisagé pourrait éventuellement montrer une **correspondance** relativement étroite entre les écorégions et la morphologie des rivières.

Tableau 1 : Surfaces d'étude de quelques travaux portant sur les écorégions (ou des problématiques similaires) classées par ordre croissant.

Surface d'étude (km ²)	Auteurs	Objet
variable, selon la taille du bassin venant	Méthodologie MEV (1991).	Outil pour le cadrage abiotique d'études hydrobiologiques.
1.000 (cours d'eau d'ordre 3)	FRISSEL et al., 1986.	Modèle hiérarchique théorique pour la classification des habitats aquatiques.
2.000	BIGGS et GERBEAUX, 1993.	Développement du périphyton en relation avec la géologie du bassin.
2.000	CLOOTS-HIRSCH et MAIRE, 1980.	Hiérarchisation des objectifs d'aménagement de la Gartempe et de ses affluents
33.000 (bassin Rhin-Meuse)	FRANCOLS et E m , 1995.	Délimitation des régions pluviométriques du bassin Rhin-Meuse.
≈ 80.000	DUBREUIL, 1965.	Implantation de bassins représentatifs de régions hydrologiquement homogènes.
110.000	LARSEN et al. 1986.	Élimination de régions « ichtyographiques » dans l'Etat de Ohio (USA).
120.000	CEMAGREF Lyon WASSON et al., 1993, etc.	Orientations de gestion du bassin de la Loire.
140.000	ROHM, GIESE et BENNE, 1987.	Évaluation de la classification des écorégions aquatiques de l'Etat de l'Arkansas (USA).
210.000	HAWKES et al., 1986.	Délimitations d'écorégions « ichtyographiques » dans l'Etat du Kansas (USA).
210.000	GOURDW, 1997.	Régionalisation des déterminants géomorphologiques des hydrosystèmes dans le bassin amazonien bolivien (zone andine).
250.000	HUGUES et al., 1987.	Délimitation de régions « ichtyographiques » dans l'Etat d'Oregon (USA).
≈ 500.000	BINET, 1998.	Régionalisation et caractérisation des cours d'eau dans le bassin amarnien de Bolivie.
550.000 (France)	DUPIAS et REY, 1985.	Détermination des régions phyto-écologiques de France.
550.000 (France)	TABACCHI, 1996.	Identification des écorégions hydrologiquement homogènes de France (éNde inter-Agences).
1.000.000 ≈	LOTSPEICH, 1980; LOTSPEICH et PLATrS, 1982.	Définition de principes de classification des bassins versants.
9.400.000 (USA)	BRUSSOCK et al., 1985.	Connaissance des évolutions longitudinales de la morphologie des chenaux dans différentes écorégions des USA
9.400.000 (USA)	HUGUES et LARSEN, 1988	Protection des eaux des USA.
9.400.000 (USA)	National Health and Environmental Effects Research Laboratory, U.S. Environment Protection Agency, 1997.	Définition des écorégions des USA.

4. SELECTION ET JUSTIFICATION DES PLANS D'INFORMATION A RETENIR (pour la réalisation d'un découpage écorégional à partir de méthodes statistiques multivariées – Méthodes 1 et 2 présentées plus bas)

4.1. REMARQUES GENERALES

Il est important que les différentes couches d'information soient homogènes les unes par rapport aux autres et parfaitement superposables. Nous envisageons donc d'organiser et, quand cela est nécessaire, de digitaliser les différentes couches d'information en veillant à ce que chaque plan soit parfaitement calé sur le même contour de la zone d'étude.

4.1.2. Le substrat

4.1.2.1. Hypsométrie (altitude et pente)

Outre l'altitude, qui représente bien entendu une variable de première importance dans notre approche car elle contrôle plus ou moins directement le climat, l'occupation du sol et les formations superficielles, il nous semble également important de prendre en compte la pente. En effet, cette variable influence aussi bien l'hydrologie que la fourniture sédimentaire des versants vers le **réseau** hydrographique (en particulier pour les cours d'eau non-alluviaux), c'est-à-dire deux composantes essentielles du fonctionnement hydro-géomorphologique des systèmes fluviaux. Le plan d'information « altitude » devrait être aisément disponible grâce au Modèle Numérique de Terrain (MNT) à maille de 100 m dont dispose le **CEREG** (4 j). Ce fichier devrait également permettre de générer le plan « pente » (pente moyenne de chaque pixel). L'évaluation de la durée de cette opération est difficile en l'état de nos connaissances car cette opération n'a pour l'instant pas été réalisée au CEREG (env. 5j).

4.1.2.2. Les formations superficielles

(VOGTH., METTAUER H. & KOLLER R. **Carte des formations superficielles d'Alsace CEREG, Association pour la Relance Agronomique en Alsace, format A3 ; échelle. 1/460.000^e**)

Cette variable constitue un bon croisement entre la géologie et la pédologie. Elle influence l'hydrologie et la fourniture sédimentaire (nature du matériel et granulométrie) et paraît ainsi être essentielle vis-à-vis de la géomorphologie fluviale. **Nous** choisissons cette variable plutôt que des variables comme la pédologie ou la lithologie parce que ces dernières ne sont pas digitalisées et que cette opération représenterait un temps de travail considérable (soit pour digitaliser tel quel ces cartes qui sont très détaillées compte-tenu de notre échelle de travail, soit pour parvenir à les simplifier par regroupements de catégories), a priori incompatible avec les contraintes afférentes à notre approche. La digitalisation de la couche « formations superficielles » devrait pouvoir être réalisée dans un délai relativement court de quelques jours car elle est présentée en format **A3** et les contours des différentes catégories sont simplifiés. Des regroupements de classes seront cependant nécessaires (5j.).

4.1.2.3. L'hydrolithologie

(ZUMSTEIN J.F., GILLE E., DECLoux J.P. & PARIS P., 1989. **Atlas de la lithologie, perméabilité et sensibilité à la pollution des formations affleurantes du bassin Rhin-Meuse Agence de l'Eau Rhin-Meuse, format A3, 6 p. + 13 planches ; échelle . 1/250.000^e**)

Cette variable, bien qu'étant partiellement redondante avec la variable précédente, présente l'intérêt d'être parfaitement adaptée au fonctionnement hydrologique des bassins Rhin-Meuse puisqu'elle a été conçue dans ce sens. Malheureusement, ce plan n'a pas été digitalisé par l'Agence; sa digitalisation sur notre espace d'étude devrait nécessiter un volume de travail plus important que pour la digitalisation de la couche « formations superficielles » puisqu'elle est nettement plus détaillée. Des regroupements de classes seront également nécessaires (8j.).

4.1.3. L'occupation du sol

L'occupation du sol (végétation naturelle ou semi-naturelle, agriculture, bâti..) représente une variable importante car elle synthétise partiellement des variables comme le relief, le substrat et le climat et traduit certaines influences des activités humaines qui, à leur

tour, agissent sur l'hydrologie et la géomorphologie fluviale (modifications des termes du bilan hydrologique -en particulier l'évapotranspiration- consécutifs à des modifications du couvert végétal, influence sur la fourniture sédimentaire des bassins...). Cette information pourrait être acquise à partir de différentes sources : carte de la végétation de la France (1/200.000^e ; non-digitalisée, la digitalisation représenterait un volume de travail considérable), base de données CORINE land cover (disponible au CEREG-ENGEES) ou encore image LANDSAT TM de l'occupation du sol à maille de 30 m disponible au CEREG (image REKLP). Le meilleur choix consisterait à utiliser l'image LANDSAT en raison de l'expérience du CEREG dans l'utilisation de cette image. L'intégration de ce plan d'information devrait par conséquent être rapide (3j).

4.1.4. Le climat

Les informations thermométriques ne jouant pas un rôle important en géomorphologie fluviale, même indirectement (les étiages sont très peu morphogènes et la rétention nivale ne joue qu'un rôle secondaire sur l'hydrologie dans notre zone d'étude), nous choisissons de ne pas prendre en compte ce groupe de variables et nous nous limiterons de ce fait à des variables pluviométriques (bien entendu, à l'échelle de la France, l'intégration de variables thermométriques paraît indispensable).

4.1.4.i. Les précipitations moyennes annuelles

(HUMBERT J., MAHR N. & SIEFERT N., 1997. Quantification spatiale des précipitations du Bassin Rhin-Meuse. Secteur oriental – période 1971-1990. Rapport final, septembre 1997. Agence de l'Eau Rhin-Meuse, Centre d'Etudes et de Recherches Eco-Géographiques, 26 p. + ann)

Les précipitations moyennes annuelles entre 1971 et 1990 ont été spatialisées sur notre zone d'étude à une maille de 1 km par HUMBERT et al. (1997). L'intégration de cette variable devrait ainsi être relativement aisée. A cet effet, il devrait être possible d'adapter les calculs de précipitations moyennes (logiciel PLWIA) sur une maille de 100 m (4j).

4.1.4.2. Les régimes pluviométriques

(SHAMSI F. 1968. Les climats de la France de l'Est Université de Strasbourg, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Centre de Géographie Appliquée, Institut de Géographie, 258 p.)

Cette variable nous paraît jouer un rôle très important puisque les régimes hydrologiques (et plus encore les régimes des crues, dont l'importance est essentielle en dynamique fluviale) des cours d'eau de notre zone d'étude sont en grande partie contrôlés par les régimes pluviométriques, l'évapotranspiration n'intervenant que secondairement. Or, nous ne disposons de cette information que par l'intermédiaire d'une carte sur support papier à l'échelle du 1/1.000.000^e (SHAMSI, 1968). Il sera donc nécessaire de digitaliser cette carte comme les cartes des formations superficielles et de l'hydro-lithologie. Les contours de cette carte (carte des régimes pluviométriques saisonniers 1880-1910) étant relativement grossiers, sa digitalisation ne devrait pas excéder quelques jours (4j).

En somme, nous estimons que les 7 plans d'information présentés ci-dessus sont à priori nécessaires, mais également suffisants, pour la délimitation d'écorégions homogènes vis-à-vis du fonctionnement hydro-géomorphologique du réseau hydrographique de zone d'étude. Par rapport au modèle national, nous proposons d'ajouter un plan « pente », dérivé du MNT, de remplacer le plan « pédologie » par un plan « formations superficielles », de ne pas prendre en compte les variables thermométriques et le plan « durée des précipitations > 1 mm » et de regrouper les plans « types de végétation potentielle » et « types d'agriculture

dominants » en un unique plan « occupation du sol ». Remarquons par ailleurs que ces 7 couches d'information ne sont pas strictement indépendantes. Toutefois, ceci ne constitue pas une difficulté dans ce travail ; au contraire, les analyses statistiques multivariées devraient permettre de regrouper et de hiérarchiser les variables les unes par rapport aux autres. L'estimation du travail nécessaire pour digitaliser et mettre en **forme** les différents plans d'information est récapitulée dans le tableau 2. Il apparaît que ces opérations sont techniquement réalisables par le **CEREG** et que cette étape devrait nécessiter près de 33 jours, soit entre 6 et 7 semaines.

Tableau 2 -Présentation des étapes nécessaires à la digitalisation et à la mise en forme des 7 plans d'information pris en compte.

Pian	Source	Opérations nécessaires	Outils	Durée estimée
Altitude	MNT du CEREG (maille de 100 m).	Calcul de l'altitude moyenne de chaque pixel.	IDRISI, Arc View	4 jours
Pente	MNT du CEREG (maille de 100 m).	Calcul de la pente moyenne de chaque pixel.	IDRISI, Arc View	5 jours
Formations superficielles	Carte de Vogt et al., support papier. A3, 1/1460.000 ^e .	Scannage, digitalisation à l'écran.	Map Info, Arc View	5 jours
Hydrogéologie	Atlas de la lithologie, perméabilité... du bassin Rhin-Meuse, support papier. 1/250.000 ^e .	Scannage, digitalisation à l'écran.	Map Info, Arc View	8 jours
Occupation du sol	Image Landsat TM (REKLIP), résolution de 30 m.	Transformation de la maille de 30 m à une maille de 100 m.	IDRISI, Arc View	3 jours
Précipitations manuelles moyennes	Fichier PLUVIA de l'étude de HUMBERT et al. 1997.	Calculs des précipitations moyennes sur une maille de 100 m.	PLUVIA	4 jours
Régimes pluviométriques	Carte support papier tirée de SHAMSI (1968). 1/1.000.000 ^e .	Scannage, digitalisation à l'écran.	Map Info, Arc View	4 jours
Total :-				33 jours

5. FAISABILITE METHODOLOGIQUE ET TECHNIQUE

5.1. METHODES ENVISAGEABLES

5.1.1. Méthode adaptée à une résolution spatiale de 100 m -Méthode 1

(10 semaines)

5.1.1.1. Etapes

- a. après **digitalisation**, homogénéisation des plans d'information entre eux en mode raster à maille de 100 m pour permettre une parfaite superposition des couches. Une rasterisation des plans d'information, initialement digitalisés en mode vecteur, est donc nécessaire. Une résolution spatiale de 100 m paraît appropriée car une résolution spatiale plus **fine** aujourd'hui inutilement la manipulation et le traitement des données. La zone d'étude est **ainsi** constituée d'environ 800.000 pixels (1 *semaine*) ;
- b. extraction d'un sous-groupe représentatif des 800.000 pixels pour pouvoir réaliser les traitements statistiques, car les logiciels de statistiques ne permettent pas de gérer des bases de données comportant 800.000 objets. Un bon **compromis** pourrait

consister à ne retenir qu'un pixel sur 4 en lignes et en colonnes. Cela revient à sélectionner au total un pixel sur 16, soit environ 50.000 pixels sur 800.000, ce qui est accepté par les logiciels de statistiques. Notons que ce type de pré-traitement est couramment utilisé en télédétection et permet d'obtenir d'excellents résultats (% **semaine**) ;

- c. réalisation des traitements statistiques sur les 50.000 pixels retenus : partition par arbres de régression, analyse des correspondances multiples à partir de laquelle peut être déduite une classification (ou, si nécessaire, autres classifications automatiques adaptées à un jeu de données quantitatives et qualitatives... ; **1 semaine**) ;
- d. généralisation des résultats à l'ensemble des 800.000 pixels par projection des 750.000 pixels non pris en compte sur les pixels étudiés. Cela devrait permettre de délimiter des ensembles écorégionaux homogènes aux contours particulièrement précis puisque non dépendants de ceux des zones hydrographiques (**1 semaine**) ;
- e. interprétation et visualisation des résultats (**2,5 semaines**) ;
- f. superposition des zones hydrographiques sur les écorégions obtenues pour pouvoir classer chaque zone dans une écorégion. Cela permet d'estimer la variabilité interne (y compris la variabilité spatiale) de chaque zone. Interprétation (**2 semaines**) ;
- g. test du découpage écorégional à partir de traitements statistiques des données hydro-géomorphologiques collectées sur le terrain (analyse des correspondances multiples, segmentation... ; **1 semaine**) ;
- h. interprétation (**1 semaine**).

5.1.1.2. intérêts et limites

Intérêts

- très bonne précision car cette approche fait appel à de véritables méthodes d'analyses spatiales (découpage écorégional **fin**) ;
- bonne estimation de la perte d'information lors de la classification des zones dans les écorégions ;
- possibilité de connaître la variabilité spatiale interne de chaque zone hydrographique (par exemple les discontinuités pouvant apparaître à l'intérieur des zones sont visualisables).

Limites

- comme les données sont quantitatives et qualitatives, le choix des traitements statistiques est limité ;
- la matrice de données est totalement différente de celle du modèle national. De fait, la réalisation de tests à partir d'un sous-groupe de variables ou d'autres méthodes statistiques est relativement lourde (réalisation des traitements sur une **matrice** de 50.000 lignes, projection des 750.000 pixels non pris en compte dans les traitements, superposition des zones hydrographiques) ;
- un certain « bruit de fond » peut gêner l'interprétation ;
- durée de mise en œuvre importante.

Cette méthode a l'avantage d'être la plus précise des quatre méthodes envisagées et de permettre d'estimer la variabilité interne (y compris la variabilité spatiale) de chaque zone hydrographique. Par contre, elle présente les inconvénients d'être relativement lourde à mettre en œuvre, d'offrir un choix de traitements restreint, de générer un « bruit de fond » pouvant gêner l'interprétation et d'organiser les données de façon très différente du modèle écorégional national [moins souple].

5.1.2. Méthode adaptée à la résolution spatiale des zones hydrographiques : Méthode 2 (7,5 semaines)

Cette approche, **sur** un plan méthodologique identique au modèle écorégional national, est en principe celle dont la mise en œuvre est demandée par l'Agence dans la convention d'étude. Comme nous l'avons indiqué plus haut, il nous semble qu'elle devrait reposer sur le maillage des 193 zones hydrographiques du bassin du Rhin dont le nombre convient à la réalisation des traitements statistiques prévus. En effet, les maillages des sous-secteurs hydrographiques (33 unités spatiales) ou des régions élémentaires de **DUPIAS** et **REY** (9 unités spatiales) ne peuvent pas convenir car dans ces cas le nombre d'unités spatiales est insuffisant.

5.1.2.1. Etapes

- a. après **digitalisation** (la rasterisation n'est pas nécessaire), superposition sur chaque plan d'information du maillage des zones hydrographiques pour calculer le pourcentage de superficie des mnes correspondant à chaque modalité des variables (par exemple : 50% de la superficie d'une zone considérée se situe à une altitude supérieure à 600 m, 30% à une altitude comprise entre 600 m et 500 m et 20% à une altitude comprise entre 500 m et 400 m). Alors que la variabilité totale de chaque zone est estimée, sa variabilité spatiale reste inconnue (2 semaines) ;
- b. réalisation des traitements statistiques **sur** la base des 193 zones hydrographiques. Les données étant quantitatives, un large éventail d'analyses multivariées est possible. A l'instar du modèle national, une partition par arbres de régression et une classification hiérarchique ascendante pourront être réalisées (ou autres classifications automatiques si nécessaire.. ; 7 semaine) ;
- c. interprétation et visualisation des résultats (2,5 semaines) ;
- i. test du découpage écorégional à partir de traitements statistiques des données hydro-géomorphologiques collectées sur le terrain (analyse des correspondances multiples, segmentation.. ; (1 semaine) ;
- j. interprétation (7 semaine).

5.1.2.2. Intérêts et limites

Intérêts

- mise en œuvre plus rapide par rapport à la méthode 1 ;
- faible « bruits de fond » par rapport à la méthode 1 ;
- toutes les données étant quantitatives, l'éventail des méthodes statistiques possibles est plus large ;
- approche similaire à celle du modèle national. De fait, la réalisation de tests à partir de sous-groupes de variables ou d'autres méthodes statistiques est relativement aisée. La méthode est donc plus souple et légère que la méthode 1.

Limites

- moindre précision des contours des écorégions. La résolution spatiale de cette méthode est environ 250 fois plus grossière que celle de la méthode 1 (193 entités spatiales dans ce cas contre 50.000 pour la méthode 1 ; le rapport 50.000/193 avoisine bien 250) ;
- la Variabilité spatiale interne de chaque zone n'est pas connue ;
- interprétation des résultats moins fine que pour la méthode 1.

Ainsi, si cette méthode a les avantages d'être plus rapide que la méthode 1 et de reprendre la méthodologie du modèle national (avec sa souplesse), elle présente les inconvénients d'être moins précise, ce qui interdit notamment la possibilité de rendre compte de la variabilité spatiale interne de chaque zone. ~~Par~~ ailleurs, la confrontation des résultats de cette méthode avec ceux de la méthode 1 devrait faire apparaître certaines différences sensibles, bien que les tendances générales devraient être similaires. Ainsi, il est clair que le classement des zones dans les écorégions ne serait pas strictement identique entre les deux méthodes.

5.1.3. Méthode fondée sur un découpage écorédonal de type « expert » : Méthode 3 (4,5 semaines)

Comme nous l'avons montré plus haut, ce type d'approche a souvent été utilisé aux Etats-Unis pour tester des découpages écorégionaux de type «expert» élaborés sur des superficies généralement supérieures à 100.000 km².

5.1.3.1. Etapes

- a. délimitation des écorégions selon une approche de type « expert » à partir de la confrontation des représentations cartographiques des variables sélectionnées (sans que la digitalisation de celles-ci soit nécessaire) ainsi que de différents travaux portant sur la définition des unités naturelles d'Alsace comme ceux de VOGT (1984) ou de **SITTLER** (1972 ; 1 semaine) ;
- b. digitalisation du découpage obtenu (1 semaine) ;
- c. superposition du maillage des zones hydrographiques afin de pouvoir classer chacune des zones dans une écorégion. Il n'est pas pertinent de vouloir chercher à connaître la variabilité interne des zones en raison du faible niveau de précision du découpage (1 semaine) ;

- d. test du découpage écorégional à partir de traitements statistiques des données hydro-géomorphologiques collectées sur le terrain (analyse des correspondances multiples, segmentation... ; (1 semaine) ;
- e. interprétation (1 semaine).

5.1.3.2. Intérêts et limites

Intérêts

- rapidité de la mise en œuvre.

Limites

- cette méthode est probablement encore moins précise que la méthode 2 ;
- le découpage obtenu (totalement figé) ne permet pas de tester le poids relatif des 7 variables sélectionnées. Cette méthode se distingue donc beaucoup du modèle national ;
- les possibilités d'interprétation sont par conséquent relativement limitées ;
- la faible finesse du découpage ne rend pas pertinente l'estimation de la variabilité spatiale des zones.

Cette méthode a donc l'avantage d'être relativement rapide mais présente les inconvénients d'aboutir à une résultat figé et de se caractériser par une faible niveau de précision ; cela rend impossible l'estimation du poids relatif des différentes variables et de la variabilité interne des zones.

5.1.4. Méthode inductive fondée sur l'analyse des données de terrain : Méthode 4 (4,5 semaines)

5.1.4.1. Etapes

- a. traitements statistiques des données collectées sur le terrain (analyse des correspondances multiples, segmentation, classification hiérarchique ascendante...). Permet une classification hiérarchisée des sites de mesure (*frmail réalisé par ailleurs*) ;
- b. au niveau le plus fin apparaît la typologie de cours d'eau, alors qu'à une échelle plus petite apparaissent des ensembles naturels relativement homogènes sur le plan du fonctionnement hydro-géomorphologique des cours d'eau (par exemple évolutions morphologiques longitudinales similaires). Il devrait être possible d'en déduire un découpage écorégional. Celui-ci devrait également reposer sur les représentations cartographiques des sept variables prises en compte dans les deux premières méthodes (1 semaine) ;
- c. digitalisation du résultat obtenu (1 semaine) ;
- d. superposition du maillage des zones hydrographiques afin de pouvoir classer chacune des zones dans une écorégion. Comme pour la méthode précédente, il n'est pas pertinent de vouloir estimer la variabilité interne des zones en raison du faible niveau de précision du découpage (1 semaine) ;
- e. interprétation des résultats (1,5 semaines).

5.1.4.2. Intérêts et limites

Intérêts

- rapidité de la mise en œuvre.

Limites

- comme pour la méthode 3 :
 - le niveau de précision est relativement faible ;
 - le découpage obtenu (totalement figé) ne permet pas de tester individuellement le poids relatif des 7 variables sélectionnées. Cette méthode aboutit également à un résultat très différent du modèle national ;
 - les possibilités d'interprétation sont relativement limitées ;
 - la faible finesse du découpage ne rend pas pertinente l'estimation de la variabilité spatiale interne des zones ;
- de plus, il est impossible de tester le découpage écorégional à partir des données hydro-géomorphologiques de terrain. Bien entendu, des tests à partir de données biocénotiques sont ultérieurement possibles, mais l'évaluation hydro-géomorphologique proprement dite est impossible.

Cette méthode est donc également relativement rapide mais présente, comme pour la méthode 3, le double inconvénient d'aboutir à un résultat figé et de présenter un faible niveau de précision. Par ailleurs, l'évaluation du découpage écorégional à partir des données hydro-géomorphologiques de terrain est impossible.

5.2. DISCUSSION

5.2.1. De la prise en compte des objectifs...

Rappelons tout d'abord que notre objectif est :

- d'une part, d'apprécier la nécessité d'introduire des plans d'information spécifiques aux caractéristiques hydrologiques des régions démentaires ;*
- d'autre part, de confronter une telle approche avec les résultats obtenus par le CEREG dans le cadre de la démarche adoptée pour son programme de recherche.*

Le point *b.* demande donc de comparer la typologie obtenue à partir des données hydro-géomorphologiques collectées sur le terrain avec une typologie qui serait issue d'une approche de type « Ecorégion ». Il apparaît ci-dessus que cela est réalisable pour les trois premières méthodes, alors que cela est impossible pour la quatrième. Cette dernière méthode ne répond donc pas à nos objectifs et nous semble devoir être écartée.

Le point *a.* est un objectif plus délicat à atteindre. Nous avons fait le choix plus haut (parag. 4.) de sélectionner 7 plans d'information a priori pertinents pour le découpage d'écorégions homogènes sur le plan du fonctionnement hydro-géomorphologique des cours d'eau de la zone d'étude. Contrairement aux méthodes 3 et 4, les méthodes 1 et 2 prennent objectivement en compte ces plans d'information pour délimiter les écorégions et permettent d'évaluer leur poids relatif vis-à-vis du découpage obtenu. En effet, les traitements statistiques comme l'analyse des composantes principales (méthode 2) ou l'analyse des correspondances multiples (méthode 1) permettent de hiérarchiser les variables entre elles. De plus, des tests (à partir des données de terrain) de la pertinence des découpages écorégionaux obtenus avec

différents sous-groupes de plans d'information peuvent être réalisés. Cela peut donc permettre d'identifier les plans d'information les moins « structurants » vis-à-vis de la morphodynamique fluviale et pourrait par exemple aboutir à ~~écarter~~ un ou plusieurs plans si leur poids s'avérait négligeable. Par ailleurs, une hiérarchisation différente des plans d'information pourrait apparaître en testant les découpages écorégionaux avec d'autres types de données de terrain (concernant par exemple les macrophytes aquatiques). **Nous** avons vu que ces tests seraient nettement moins lourds à mettre en œuvre pour la deuxième méthode (approche similaire à celle du modèle national) que pour la première. Cette souplesse d'utilisation représente donc un grand avantage de la deuxième méthode par rapport à la première.

Par ailleurs, l'appréciation de la nécessité d'introduire des couches d'information supplémentaires autres que les 7 couches sélectionnées pourrait être délicate et nous semble devoir être écartée. **Si** cela s'avérait nécessaire, il conviendrait d'introduire la(les) couche(s) d'information supplémentaire(s) dès le commencement du travail afin de pouvoir l'(les)intégrer directement aux traitements statistiques.

5.2.2. ... au choix méthodologique

Compte tenu de ces remarques, il convient de choisir de mettre en œuvre **l'une** des trois premières méthodes envisagées. Fondamentalement, il est clair que si l'estimation du poids relatif des couches d'information s'avérait finalement accessoire, les deux premières méthodes seraient à écarter, malgré leur plus grande précision, et le choix de la troisième méthode s'imposerait car sa mise en œuvre est beaucoup moins lourde, même si cette méthode paraît moins précise.

Par contre, si l'estimation du poids relatif des couches d'information s'avère indispensable, le choix devra porter sur l'une des deux premières méthodes. **Nous** avons vu plus haut que la première méthode est plus précise que la seconde, mais que cette précision peut également faire apparaître un **certain** « bruit de fond ». La seconde méthode, moins précise, présente l'avantage d'être plus rapide et surtout plus souple, malgré une certaine perte de précision. Il nous semble par conséquent que, si le choix doit être porté sur l'une des deux premières méthodes, la seconde (c'est-à-dire la méthode adaptée du modèle écorégional national) serait la plus appropriée.

En définitive, il apparaît, à la lumière de ces éclairages, que le choix final de la méthode à mettre en œuvre doit porter sur :

- la **deuxième méthode** (adaptée du modèle écorégional national), si l'estimation du poids relatif de chaque plan d'informations s'avère indispensable ;
- ou la **troisième méthode**, si l'estimation du poids relatif de chaque plan s'avère finalement accessoire.

5.3. POSSIBILITES ET CONTRAINTES TECHNIQUES DU CEREG

Les logiciels nécessaires sont les suivants :

- logiciels de type SIG : Map **Info**, Arc View, **IDRISI** ;
- logiciels de statistiques : MINITAB, SYSTAT, etc.

Ces logiciels sont disponibles et facilement utilisables au CEREG.

L'auteur du présent document n'a pas pour l'instant de connaissances approfondies dans l'utilisation des logiciels de types SIG. Toutefois, ceci ne devrait pas représenter une difficulté importante car nous nous limitons volontairement à des outils dont l'apprentissage est relativement aisé et dont les fonctionnalités sont par ailleurs suffisantes pour notre travail. Il est ainsi exclu de recourir à des outils disponibles au CEREG dont l'utilisation serait très lourde et nécessiterait un temps d'apprentissage de plusieurs mois (GRASS, MGE). De plus, il sera possible de recourir au soutien technique des membres du **CEREG** (et, de façon générale, de la Faculté de Géographie de Strasbourg) ayant une bonne pratique de ces outils.

CONCLUSION

Cette étude nous a conduit à mener une réflexion approfondie sur la pertinence et la faisabilité **d'un** travail sur les écorégions de la bordure alsacienne du fossé rhénan vis-à-vis d'une typologie hydro-géomorphologique régionale des cours d'eau. Après avoir précisé le contexte scientifique du travail envisagé et identifié les plans d'information a priori nécessaires pour une délimitation « objective » des écorégions de l'espace étudié (méthodes statistiques multivariées), quatre méthodologies sont proposées. Le déroulement pratique, les limites et les intérêts de chacune de ces approches sont détaillées et permettent d'estimer la pertinence de chacune d'elle par rapport aux objectifs définis dans la convention d'étude. Il apparaît que les moyens techniques du CEREG sont compatibles avec les différentes possibilités proposées. **En** somme, après une comparaison critique, deux options **nous** semble pouvoir être écartées; le choix définitif devrait en conséquence porter sur la deuxième (*Méthode adaptée à la résolution spatiale des zones hydrographiques*) ou le troisième (*Méthode fondée sur un découpage écoregional de type « expert »*) méthodologie.

* * *

Tableau 3 : Comparaison des quatre méthodes adaptées en termes de durée, d'intérêts et de limites.

Méthode	Durée (semaines)			Total	Intérêts	Limites
	Digitalisation	Mise en œuvre	Rédaction			
Méth. 1	6,5	10	2	18,5 (≈ 4,5 mois)	Très bonne précision. estimation de la variabilité spatiale interne des zones. possibilité de tester le découpage écorégional.	Durée importante. choix de 115h stat. limité. ubruit de fond x. estimation lourde du poids des différentes variables, faible souplesse par rapport au modèle national.
Méth. 2	6,5	7,5	2	16 (≈ 1 mois)	Mise en œuvre + rapide que Méth. 1. faible « bruit de fond », large choix de méthodes statistiques, approche similaire à celle du modèle national, grande souplesse estimation du poids relatif de chaque variable aisée possibilité de tester le découpage écorégional.	Moindre précision par rapport à la Méth. 1, variabilité spatiale interne des zones inconnue. interprétation moins fine que pour la Méth. 1.
Méth. 3	1	4,5	2	6,3 (≈ 1,5 mois)	Rapidité. possibilité de tester le découpage écorégional.	Précision relativement faible, découpage figé, estimation du poids relatif des variables impossible, variabilité spatiale interne des zones inconnue.
Méth. 4	1	4,5	2	6,5 (≈ 1,5 mois)	Rapidité.	Faible précision, découpage figé. estimation du poids relatif des variables impossible, variabilité spatiale dans les zones inconnue, impossibilité de tester le découpage écorégional.

Méthode 1 : Méthode adaptée à une résolution spatiale de 100 m

Méthode 2 : Méthode adaptée à la résolution spatiale des zones hydrographiques

Méthode 3 : Méthode fondée sur un démoage écorégional de « méthode expert »

Méthode 4 : Méthode inductive fondée sur l'analyse des données de terrain

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Agence de l'Eau Rhin-Meuse, Université de Metz, Laboratoire d'Ecologie, Ecoior, Gereea, Loisirs et détente & INRA Rennes, 1991. Etude des végétaux fixes en relation avec la qualité du milieu (méthodologie MEV) . Etude inter-agences, hors série. 94 p. + ann. + référentiel (composantes abiotiques du milieu aquatique), 17 p.*
- ANDRJAMAAEFA H. & MALAVOI J.R., 1993.** Eléments pour une typologie morphologique des cours d'eau du bassin de la Loire. Rapport d'étape. *Ministère de l'environnement CEMGREF, Groupement de Lyon, Division Biologie des Ecosystèmes Aquatiques, Laboratoire d'Hydroécologie Quantitative. Epteau, 48 p. + ann.*
- BAILEY R.G., 1983.** Delineation of ecosystem regions. *Environmental Management, 7, 4,* pp. 365-313.
- BIGGS B.J.F., DUNCAN M.J., JOWETT I.G., QUI * * J.M., HICKEY C.W., DAVIES-COLLEY R.J. & CLOSE M.E., 1990.** Ecological charactensation, classification, and modelihg of New Zealand rivers : an introduction and synthesis. *New Zealand Journal of Marine Freshwater Research, 24, 3, pp. 277-304.*
- BINET D., 1998.** Régionalisation et caractérisation géomorphologiques des cours d'eau dans le bassin amazonien de Bolivie. *ENGEES, ORSTOM, 95 p.*
- BRUSSOCK P.P., BROWN A.V. & DMON J.C., 1985.** Channel form and stream ecosystem models. *Water Resources Bulletin, 21, 5, pp. 859-866.*
- CLOOTS-HIRSCH A.R. & MAIRE G., 1980.** Recherches méthodologiques sur le réseau hydrographique de la Gartempe. Etudes préalables aux aménagements de rivières. Sectorisation et hiérarchisation d'objectifs. *Ministère de l'Agriculture, ULP Strasbourg, Centre de Géographie Appliquée, LA 95 CNRS, 75 p. + 8 cartes.*
- COHEN P., 1994.** Approche régionale de l'habitat du poisson : ébauche de typologie de la composante morphologique et aspects méthodologiques. Rapport technique. *DEA Analyse et Modélisation des Systèmes Biologiques, Universifi Lyon 1, Institut d'Analyse des Systèmes Biologiques et Socio-Economiques URA 1451, CEMGREF, Groupement de Lyon, Laboratoire d'Hydroécologie Quantitative, 26 p.*
- DUBREUIL P., 1965.** Contribution à l'étude d'implantation de bassins représentatifs de régions hydrologiques homogènes. *Cahiers ORSTOM 2, pp. 3-20.*
- DUPIAS & REY, 1985.** Document pour un zonage des régions phyto-écologiques. **CNRS,** *Centre d'Ecologie des Ressources Renouvelables, 39 p. + 2 cartes.*
- FRANCOIS D. & EMMANUEL G., 1995.** Définition des régions pluviométriques dans les bassins de la Meuse, de la Moselle et des affluents alsaciens du Rhin. *Centre d'Etudes Géographiques de l'Université de Metz, Agence de l'Eau Rhin-Meuse, 116 p.*
- FRISSELL C.A., 1985.** A hierarchical stream habitat classification system : developpement and demonstration. **MS thesis, Oregon State University, 103 p.**
- GOURDIN F., 1997.** Régionalisation des déterminants géomorphologiques des hydrosystèmes dans le bassin amazonien bolivien. Cas de la zone andine. *ENGEES, ORSTOM, 109 p.*
- GRIGG D.B., 1965.** The logic of regional systems. *Annals of the Association of American Geographers, 55, pp. 456-491.*
- HAWKES C.L., MILLER D.L. & LAYHER W.G., 1986.** Fish ecoregions of Kansas : stream fish assemblage patterns and associated environmental correlates. *Environmental Biology of Fishes, 17, 4, pp 261-219.*
- HUGUES RM., REXSTAD E. & BOND C.E., 1987.** The relationship of aquatic ecoregions, river basins and physiographic provinces to the ichthyogeographic regions of Oregon. *Copeia, 2, pp. 423-432.*

- HUGUES R.M. & LARSEN D.P., 1988.** Ecoregions : an approach to surface water protection. *Journ. Wat Poll. Control*, 60, 4, pp. 486-493.
- HUMBERT J., MAHR N. & SIEFERT N., 1997.** Quantification spatiale des précipitations du Bassin Rhin-Meuse. Secteur oriental – période 1971-1990. Rapport final, septembre 1997. *Agence de l'Eau Rhin-Meuse, Centre d'Etudes et de Recherches Eco-Géographiques*, 26 p. + ann.
- HYNES H.B.N., 1975.** Edgardo Baldi Memorial Lecture. The **stream** and its Valley. *Verh. Internat. Verein Limnol*, 19, pp. 1-15.
- LARSEN D.P., OMERNIK J.M., HUGUES R.M., ROHM C.M., WHITTIER T.R., KINNEY A.J., GALLANT A.L. & DUDLEY D.R., 1986.** Correspondance between spatial patterns in fish assemblages in Ohio streams and aquatic ecoregions. *Environmental Management*, 10, 6, pp. 815-828.
- LOTSPEICH F.B., 1980.** Watersheds as the basic ecosystem : this conceptual framework provides a basis for a natural classification system. *Water Ressources Bulletin*, 16, 4, pp. 581-586.
- LOTSPEICH F.B. & PLATTS W.S., 1982.** An integrated land-aquatic classification system. *North American Journal of Fisheries Management*, 2, pp. 138-149.
- National Health and Environmental Effects Research Laboratory, US. Environmental Protection Agency, 1997.* Level III ecoregions of the continental United States (revised 1997).
- OMERNIK J.M., 1987.** Ecoregions of the conterminous United States. *Annals of the Association of American Geographers*, 77, 1, pp. 118-25.
- ROHM C.M., GIESE J.W. & BENNETT C.C., 1987.** Evaluation of an aquatic ecoregion classification of streams in **Arkansas**. *Journal of Freshwater Ecology*, 4, 1, pp. 127-140.
- SCHUMM S.A. & LICHTY R.W., 1965.** Time, space and causality in geomorphology. *American Journal of Science*, 263, pp. 110-119.
- SHAMSI F. 1968.** Les climats de la France de l'Est. *Université de Strasbourg, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Centre de Géographie Appliquée, Institut de Géographie*, 258 p.
- SITTLER J., 1972.** Les régions naturelles du département du Haut-Rhin. *Sciences Géologiques, Bulletin*, 25, 2-3, pp. 31-33.
- STRAHLER A.N., 1957.** Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions, American Geophysical Union*, 38, 6, 913-920.
- TABACCHI E., 1995.** Identification des écorégions hydrologiquement homogènes du territoire national. Dernière phase : délimitation multicritères des écorégions Vol. 1. *Etude Inter-Agences, Agence de l'Eau Rhin-Meuse, Centre d'Ecologie des Systèmes Fluviaux du CNRS*, 23 p. + *ann.*
- TABACCHI E., 1996.** Identification des écorégions hydrologiquement homogènes du territoire national. Dernière phase : délimitation multicritères des écorégions Vol. II. *Etude Inter-Agences, Agence de l'Eau Rhin-Meuse, Centre d'Ecologie des Systèmes Fluviaux du CNRS*, 40 p.
- VOGT H., 1984.** Les milieux naturels de l'Alsace. In HILTMBERT J., NONN H., PAUL P. & VOGT H., *éd.* l'Alsace. La terre et les hommes. *Editions Mars et Mercure*, pp. 7-31.
- VOGT H., METTAUER H. & KOLLER R.** Carte des formations superficielles d'Alsace. *CEREG, Association pour la relance agronomique en Alsace*.
- WASSON J.G., 1996.** Structures régionales du **Bassin** de la Loire. *La Houille blanche*, 617, pp. 25-31.
- WASSON J.G., BETHEMONT J., DEGORCE J.N., DUPUIS B. & JOLIVEAU T., 1993a.** Approche écosystémique du bassin de la Loire : Eléments pour l'élaboration des orientations fondamentales de gestion. Phase 1 : Etat initial - Problématique. Rapport

d'étape. **CEMGREF, Groupement de Lyon et Université Jean Monnet St Etienne, CRENAM; CNRS URA 260, 102p**

WASSON J.G., BETHEMONT J., DEGORCE J.N., DUPUIS B. & JOLIVEAU T., 1993. Approche écosystémique du bassin de la Loire : Eléments pour l'élaboration des orientations fondamentales de gestion. Phase 1, Atlas. **CEMGREF, Groupement de Lyon et Université Jean Monnet St Etienne, CRENAM & CNRS URA 260**, 113 p. + ann.

ZUMSTEIN J.F., 1976. Contribution à l'élaboration de cartes hydrologiques. Cartes des étiages mensuels des bassins de la Meuse et de la Moselle de 1969 à 1973. **La Houille blanche**, 6/7, pp. 569-581.

ZUMSTEIN J.F., GILLE E., DECLoux J.P. & PARIS P., 1989. Atlas de la lithologie, perméabilité et sensibilité à la pollution des formations affleurantes du bassin Rhin-Meuse. **Agence de l'Eau Rhin-Meuse**, format A3, 6 p. + 13 planches.

Annexe 2

Caractérisation de la majorité du réseau hydrographique d'Alsace à partir de la topographie, la lithologie et les formations superficielles et sélection des cours d'eau à étudier pour l'élaboration d'une typologie hydro-géomorphologiques des rivières en Alsace

1. Rivières originaires des régions montagneuses ou collinéennes

2. Rivières de plaine alimentées en tout ou partie par la nappe phréatique /défluent ou paléo-défluent de l'III et du Rhin)

CARACTERISATION DE LA MAJORITE DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE D'ALSACE A PARTIR DE LA TOPOGRAPHE, LA LITHOLOGIE ET LES FORMATIONS SUPERFICIELLES ET SELECTION DES COURS D'EAU A ETUDIER POUR L'ELABORATION D'UNE TYPOLOGIE HYDRO-GEOMORPHOLOGIQUE DES RIVIERES EN ALSACE

1. Rivières originaires des régions montagneuses ou collinéennes

Les rivières sélectionnées sont identifiées par une trame grise

Critères de sélection :

- on a cherché à représenter les différentes modalités des variables prises en compte (sauf celles qui n'ont qu'une valeur indicative dans le tableau) et leur diverses combinaisons ;
- et dont certaines caractéristiques ont fait l'objet d'études antérieures (hydrologie, géomorphologie...).

(Cette section est susceptible d'évoluer en fonction de l'avancée du travail de suivi)

		Variables descriptives des cours d'eau										
Bassin versant	Cours d'eau	Unité géographique régionale (carte formations superficielles UCVST et al. + cartes géol.)	Origine (grande crête, crête intermédiaire, piémont, plaine, autres...)	Ordre (Agence de l'eau)	Affluents RG: rive gauche RD: rive droite	Type de fond de vallée (en V, en U (glaciaire), alluvial, cône de déjection, grande plaine C I b rhénane, autres...)	Rivière à fond fixe ou à fond mobile	Sinueosité approximative : x - rectiligne xx - moy' sinucux xxx - très sinucux	Altitude (m)		Longueur approximative utilisée pour le calcul de la pente (km)	Pente moyenne approximative (%)
									Amont	Aval		
III	III (source -> Raedersdorf)	marne-calcaires du Jura	Jura	I	RG Rhin	alluvial	mobile	xx	565	430	9	1,5
	III (Raedersdorf -> Illfurth)	collines loessiques	Jura	I	RG Rhin	alluvial	mobile	xxx	430	260	39	0,4
	III (Illfurth -> Illbach)	collines loessiques	Jura	I	RG Rhin	alluvial	mobile	xxx	260	230	17,5	0,2
	III (Illbach -> Meyenbeim)	alluvions	Jura	I	RG Rhin	grande plaine	mobile (aménagement modéré)	xx (xxx)	230	213	18,5	0,09
	III (Meyenbeim -> Housen)	alluvions	Jura	I	RG Rhin	grande plaine	mobile (aménagement large)	x (rectif' ancienne, tracé initial non visible sur carte géol.)	213	182	28	0,1
	III (Housen -> Rhin)	alluvions	Jura	I	RG Rhin	grande plaine	mobile (aménagement modéré)	xx	182	131	100	0,05
	Thalbach (source -> III)	collines loessiques Sundgau	collines loessiques	2	RD III	alluvial	mobile	xxx	460	274	18,5	1
	Feldbach (source -> III)	collines loessiques Sundgau	collines loessiques	2	RG III	alluvial	mobile	xx	455	317	11	1,2
Largue	Largue (source -> Leinscourt)	Jura alsacien (marne-calcaires)	Jura alsacien	2	RG III	alluvial	mobile	a	550	466	3,5	2,4

Bassin versant	Cours d'eau	Unité géographique régionale	Origine	Ordre	Affluents	Fond de vallée	Riv. fixe/mobile	Sinueosité	Altitude		Longueur	Pente
									Amont	Avant		
	Largue (Levenscourt→Retzwiller)	Sundgau, collines loessiques	Jura alsacien	2	RG III	alluvial	mobile	xxx	466	302	26	0,6
	Largue (Retzwiller→III)	collines loessiques	Jura alsacien	2	RG III	alluvial	mobile	xxx	302	260	19	0,2
	Grumbach (source→Largue)	Jura alsacien (marno-calcaires), collines loessiques Sundgau	Jura alsacien	3	RD Largue	alluvial	mobile	xx	540	383	11	1,4
	Largitzenbach (source→Largue)	Sundgau collines loessiques	Sundgau collines loessiques	3	RD Largue	alluvial	mobile	x, puis xx	468	354	12	1
	Traubach (source→Largue)	collines loessiques	piémont vosgien, collines loessiques	3	RG Largue	alluvial (colluvions)	mobile	xx	375	289	9,5	1
	Soultzbach (source→Largue)	collines loessiques	piémont vosgien, collines loessiques	3	RG Largue	alluvial (colluvions)	mobile	xx (xxx)	400	277	16,5	0,7
	Krebsbach (Spechbach, Feldgraben) (source→Largue)	collines loessiques	piémont vosgien, collines loessiques	3	RG Largue	alluvial (colluvions)	mobile	x (xx)	337	260	15	0,5
Doller	Doller (source→Seewen)	Culm	crête intermédiaire	2	RG III	V (U localement)	fixe	x	800	520	4,5	6
	Doller (Seewen→Lanzw)	Culm	crête intermédiaire	2	RG III	alluvial	mobile	xx	520	390	11,5	1,1
	Doller (Lanzw→Bumhaupt-le-haut)	marno-calcaires collines et terrasses loessiques	crête intermédiaire	2	RG III	cône	mobile	xx	390	290	14	0,7
	Doller (Bumhaupt-le-haut→II)	alluvions, loess	crête intermédiaire	2	RG III	grande plaine	mobile	xx	290	235	14	0,4
	Rau d'Alfeld (amont Lac Alfeld)	roches cristallines et cristallophylliennes	grande crête	3	RG III	en V	fixe	x	800	620	1,25	14
	Seebach (Lac Alfeld→Doller (Seewen))	roches cristallines et cristallophylliennes	grande crête	3	RG Doller	alluvial et tourbeux	mobile	xx	520	501	2,25	0,8
	Seebach (Schoenebaechle) (source→Doller)	roches cristallines et Culm	grande crête	3	RG Doller	U	fixe	x	985	460	6	9
	Bourbach (source→Doller)	piémont marno-calcaire	crête intermédiaire	3	RG Doller	V, puis alluvial	fixe, puis mobile	x	920	344	8,5	7
	Baerenbach (source→Doller) (Gval/Rammersmatt)	collines et terrasses marno-calcaires et loessiques	piémont	3	RG Doller	alluvial	mobile	x	500	270	14	1,5
Thur	Thur (source→amont Wildenstein)	roches cristallines et cristallophylliennes	grande crête	2	RG III	V (localement U)	fixe	x	1140	660	2	25
	Thur (barrage Kruth→Tham)	Culm, roches cristallines	grande crête	2	RG III	fluvio-glaciaire, alluvial	mobile	xx	540	340	21,5	0,9
	Thur (Tham→Stafelrieden)	marno-calcaires, loess	grande crête	2	RG III	cône	mobile	xx	340	255	10,5	0,8

Bassin versant	Cours d'eau	Unité géographique régionale	Origine	Ordre	Affluents	Fond de vallée	Rtv. fixe/mobile	Sinueosité	Altitude		Longueur	Pente
									Amont	Aval		
	Thur (Staffelfelden=>III)	alluvions vosgiennes et allanes, loess	grande crête	2	RG III	grande plaine	mobile	xx	255	215	10	0,4
	Runscherunz (source=>Thur) (cuv Kruth)	Culm	grande crête	3	RG Thur	V (U)	fixe	x	1030	525	3,75	15
	Seebach (cuv. mal, cuv. See- Urbes=>Thur)	Culm	crête intermédiaire	3	RD Thur	alluvial, tourbeux et glaciaire	mobile	xx	465	445	3,5	0,6
	Bruscherrunz (source=>Thur) (amont St Amarin)	Culm	grande crête	3	RG Thur	V	fixe	x	1060	475	1,75	.3
	Erzenbach (source=>Thur) (cuv Cernay)	strato-volcan du Molkerain	crête intermédiaire	3	RG Thur	V, puis alluvial	fixe	x	790	320	5,5	8,5
	Vieille Thur	alluvions	différence RG Thur	2	différence RG Thur et affluent RD Lauch	grande plaine	mobile	xx, localement xxx	225	191	26	0,1
Lauch	Lauch (amont Lac Lauch) (=Steinlebachrunz)	Culm	grande crête	2	RG III	V	fixe	x	1240	942	2	15
	Lauch (Lac de la Lauch=>Linthal)	Culm	grande crête	2	RG III	U, un peu alluvial	fixe	x	900	450	6,5	7
	Lauch (Linthal=>Guebwiller)	Culm, roches cristallines	grandedte	2	RG III	alluvial	mobile	xx	450	281	9	1,9
	Lauch (Guebwiller=>Merxheim)	terrasses loessiques, piémont...	grande crête	2	RG II	cône	mobile	x (xx)	281	215	6	1,1
	Lauch (Merxheim=>III)	alluvions vosgiennes sur alluvions rhénanes	grande crête	2	RG III	grande plaine	mobile	xx	215	186	25,5	3,1
	Grosse Sulzbach (source=>Lauch) (aval Linthal)	limite (faible) Culm et roches cristallines	grande crête	3	RG Lauch	en V	fixe	x	919	450	3,25	14
	Felsenbach (source=>Lauch) (Kleinerbach)	Culm	crête intermédiaire	3	Rû Lauch	V	Tue.	x	1150	460	4	17
	Rau du Linthal (source=>Lauch)	Culm	grande crête	3	RGlauch	V	fixe	x	1080	430	4	16
	Quierenbach (Schacherthalbach) (source=>Ohmbach)	collines sous-vosgiennes (grès, marnes, granite, loess...)	collines sous-vosgiennes	4	RD Ohmbach	en V, puis alluvial	fine, puis mobile	x, pub xx	363	207,5	9	1,7
	Ohmbach (Thannhurschrunz) (source=>Lauch)	collines sous-vosgiennes (roches cristallines, calcaires, marnes, loess...)	crête intermédiaire	3	RG Lauch	en V, formabans de sohliuxion, alluvial	fixe, puis mobile	x	750	206	13	1
Fecht	Grande Fecht (source=>Mittbach) (source sud versant Sûltzbach)	Culm	grande crête	2	RG III	en V, puis en U + un peu alluvial	fixe (puis un peu à fond mobile)	x, xx	1225	520	7	10

Bassin versant	Cours d'eau	Unité géographique topographique	Origine	Ordre	Affluents	Fond de vallée	Riv. fixe/mobile	Sinuosité	Altitude		Longueur	Pente
									Amont	Aval		
	Grande Fecht (Mittlach→Münster)	roches cristallines	grande crête	2	RG III	alluvial	mobile	xx	520	370	11	1.4
	Fecht (Münster→Türkheim)	roches cristallines, gneiss	grande crête	2	RG III	alluvial	mobile	xx	370	245	13,5	1
	Fecht (Türkheim→Benn wäld Gare)	cailloutis de Fecht et Weiss	grande crête	2	RG III	cône	mobile	xx	245	185	9	0,7
	Fecht (Bennwäld→III)	alluvions vosgiennes et ellanes, loess...	grande crête	2	RG III	plaine	mobile	xx	185	175	10,5	0,1
	Petite Fecht (source→Grossmatt)	roches cristallines	grande crête	3	RG Fecht	en U	fixe	x	1070	510	4,25	13
	Petite Fecht (Grossmatt→G. Fecht)	roches cristallines	grande crête	3	RG Fecht	alluvial (dépôts fluvioglaciers)	mobile	xx	510	370	7	2
	Rau du Lac des Truites (source→Petite Fecht)	roches cristallines	grande crête	4	RG Petite Fecht	en U, puis alluvial (fluvioglacière)	fixe, puis mobile	x, puis xx	1065	435	13	5
	Walbach (source→Fecht) (Walbach)	roches cristallines	crête intermédiaire	3	UGPecht	en V, puis alluvial	fixe	x	750	350	3,25	12
	Zimmerbach (Zimmerbach) (source→Fecht)	granite et gneiss	crête intermédiaire	3	RG Fecht		fixe	x	760	300	3,75	12
	Krebsbach (Soulzbach) (source→Fecht)	roches cristallines et cristallophyliennes	grande crête		RD Fecht	V, puis ahvial	fixe, puis à mobile	x, puis xx	850	305	9	6
Weiss	Rau Weiss (Rau Lac Blanc) (aval Lac)	roches cristallines	grande crête	3	RG Fecht	en V	rae	x	1040	540	5	10
	Weiss (confl. Rau Lac Noir→ Hachimette)	roches cristallines	grande crête	3	RG Pecht	alluvial	mobile	xx	540	370	5	3
	Weiss (Hachimette→Kays erberg)	roches cristallines	grande crête	3	RG Pecht	alluvial	mobile	xx	1370	240	18,5	1,5
	Weiss (Kaysersberg→Fecht)	marno-calcaires, alluvions anciennes	grande crête	3	RG k h t		mobile	xx	240	190	6	0,8
	Rau Lac Noir (amont Lac)	roches cristallines	grande crête	4	RD Weiss	en V	fine	x	1280	937	1,25	27
	Rau Lac Noir (Lac Noir→Weiss)	roches cristallines	grande crête	4	RD Wem	en V, puis alluvial	fixe, puis mobile	x	950	540	4	10
	La Béline (source→Weiss)	roches cristallines	grande crête	4	RG Weiss	m v, en U (fluvioglacière)	fixe, puis mobile	x	950	540	15	3
	Rau de l'Ur (source→Weiss)	roches cristallines et cristallophyliennes	crête intermédiaire	4	RG Weiss	en V, en U (fluvioglacière)	fixe, puis mobile	x	930	335	7,5	8

Bassin versant	Cours d'eau	Unité géologique régionale	Origine	Ordre	Affluents	Fond de vallée	Riv. fixe/mobile	Sinueosité	Altitude		Longueur	Pente
									Avant	Après		
Giessen	Giessen (sources-Urbès)	roches cristallines et cristallophyliennes	crête intermédiaire	2	RG III	V	fixe	x	590	400	5	3,8
	Giessen (Urbès-Ville)	roches cristallophyliennes et Permien et Dévonien	crête intermédiaire	2	RG III	alluvial	mobile	xx	400	260	8	1,7
	Giessen (Ville-centr. Liepvrette)	roches cristallines	crête intermédiaire	2	RG III	alluvial	mobile	x (xx)	260	200	11	0,5
	Giessen (conf. Liepvrette-Sékal-Ch.fer)	alluvions anciennes	crête intermédiaire	2	RG III	cône	mobile	xx	200	175	6,5	0,4
	Giessen (Sékal-Ch.fer-III)	alluvions éolanes	crête intermédiaire	2	RG III	plaine	mobile	xx	175	165	6	0,2
	Rau " le Giessen " (sources-Gast)	roches cristallines	sommet vosges moy	3	RG Giessen	en V	fixe	x	650	360	3,25	8
	Rau " le Giessen " (Gast-Giessen) (ville)	permien, dévonien	crête intermédiaire	3	RG Giessen	alluvial	mobile	xx	360	260	7	1,4
	Breitenbach (source->" le Giessen ")	roches cristallines et cristallophyliennes	crête intermédiaire	4	RG " le Giessen "	V	fixe	x	920	273	5,5	12
	Liepvrette (sources->St-Marie)	roches cristallines	grande crête	3	RD	en V, puis fond alluvial étroit	fixe	x	800	375	7,75	5
	Liepvrette (St-Marie->Giessen)	roches cristallines, Permien et Dévonien	crête intermédiaire	3	RD	alluvial	mobile	xx	375	200	17,5	1
	Rau de Raenthal (source->Liepvrette) (env Echery)	roches cristallines	grande crête	4	RD Liepvrette	en V	fixe	x	950	450	4	12
	Rau du Grand Rombach (source->Liepvrette) (St-C-roix)	roches cristallines	crête intermédiaire	4	RG Liepvrette	en V, puis alluvial	fixe	x	1 M	325	5	8
	Rau du Rombach (source->Liepvrette) (Lapre)	roches cristallines	crête intermédiaire	4	RG Liepvrette	en V, puis alluvial	fixe	x	120	165	8,75	9
	Rau Goutte St-Blaise (source->Liepvrette)	roches cristallines	crête intermédiaire	4	RD Liepvrette	en V	fixe	x	110	30	3,75	10
	Saarbach (source->Liepvrette) (amont Hurs)	roches cristallines	crête intermédiaire	4	RD Liepvrette	en V	fixe	x	SdO	zdo	3,25	0,9
	Riehbach (source->Liepvrette) (aval Hurs)	roches cristallines	crête intermédiaire	4	RG Liepvrette	en V	fixe	x	ddo	730	d	5
	Kreuzelgöthbach (source->Giessen)	roches cristallines, Permien et Dévonien	crête intermédiaire	3	RG Giessen	V	fixe	x	500	230	5,5	5
Andlau	Andlau (source->env. Neumüllerei)	roches cristallines	sommet vosges moy	2	RG III	en V	fixe	x	1040	630	2,75	14
	Andlau (Neumüllerei->env. Le Hölwald)	roches cristallines	sommet vosges moy	2	RG III	en V	fixe	x	630	550	2	4

Bassin versant	Cours d'eau	Unité géomorphologique réplique	Origine	Ordre	Affluents	Fond de vallée	KIV. fixe/mobils	Simosité	Attitude		Longueur	Pente
									Amont	aval		
	Andlau (aval Le Hohwald->Andlau)	roches cristallines	sommet vosges moy	2	RG III	en V	fixe	x	550	222	9	Sfi
	Andlau (Andlau->Zelwiler)	loess, dépôts de piémont...	sommet vosges moy	2	RG III	cône	mobile	xx	222	160	7	0,9
	Andlau (Zelwiler->III)	alluvions, loess	sommet vosges moyenne*	2	RG III	plaine (Bruch)	mûik	xx	160	144	21	0,68
	Luffenbachet (sources->Andlau) (aval Le Hohwald)	roches cristallines	crête intermédiaire	3	RG Andlau	V	fixe	x	737	537	2	10
	Hasselbach (source->Andlau) (aval Elfermatten)	roches cristallines et cristallophyliennes	crête intermédiaire	3	RD Andlau	V	fixe	x	630	360	3,25	8
	Weihermalenthal (source->Andlau) (amont Andlau)	roches cristallines et cristallophyliennes	crête intermédiaire	3	RD Andlau	V	fixe	x	540	270	3,25	8
	Scheer (La Bonnaf (Par Dambach-> Andlau)	alluvions, loess	dérivation (affluence ?) du Girschen (Aubach et Humbachel) Girschen	3	RD Andlau	alluvial	mobile	xx (en aval, le Scheer emprunte probablement le lit d'un ancien défluent de l'III. la Ouer)	170	140	41,75	0,07
	Schemetz (source->Herswiller)	Permien et Devonien	crête intermédiaire	4	RG Scheer	V	fixe	x	630	218	5,25	8
	Schemetz (Herswiller ->D603)	dépôts de piémont, loess...	crête intermédiaire	4	RG Scheer	alluvial	mobile	xx	218	167,5	5,75	0,9
	Schemetz (D603->Scheer)	alluvions, loess	crête intermédiaire	4	RG Scheer	alluvial	mobile	xx	167,5	158	6	0,15
	Kirneck (source->Tall)	roches cristallines et cristallophyliennes	crête intermédiaire	3	RG Andlau	V	fixe	x	920	255	7,75	9
Kirneck (Tall->Andlau)	dépôts de piémont, loess...	crête intermédiaire	3	RG Andlau	cône, alluvial...	mobile	xx	255	156	9,5	1	
Ehn	Ehn (source->Ottrott-le- bas)	roches cristallines et cristallophyliennes, grès...	crête intermédiaire	2	RG III	V, puis alluvial	fixe	x	940	240	11	6
	Ehn (Ottrott-le- bas->Meisraizheim)	loess, grès, formations de dépôts...	crête intermédiaire	2	RG III	auunal (cane)	mobile	xx	240	157	10,5	0,8
	Ehn (Meisraizheim->III)	alluvions, loess	crête intermédiaire	2	RG III	plaine (Enich)	mobile	xx	157	142	16	0,1
Bruche	Bruche (source->St-Blaise- la-Roche)	roches cristallines et cristallophyliennes	sommet Vosges moyennes	2	RG III	alluvial	mobile	x en amont, puis xx (xxx)	670	425	12,5	2
	Bruche (St- Blaise-la-Roche-> Schirmeck)	roches cristallines et cristallophyliennes	sommet Vosges moyennes	2	RG III	alluvial	mobile	xx	425	305	12,75	0,9
	Bruche (Schirmeck->Mutzig)	roches cristallines et cristallophyliennes, grès, loess...	sommet Vosges moyennes	2	RG III	alluvial	mobile	xx	305	190	27	0,4
	Bruche (Mutzig->Kalsbheim)	marno-calcaire, loess, grès...	sommet Vosges moyennes	2	RG III	cône	mobile	xx	190	155	15	0,2
	Bruche (Kalsbheim->III)	terrasses loessiques	sommet Vosges moyennes	2	RG III	grande plaine	mobile	xxx	155	145	16,25	0,06

Bassin versant	Cours d'eau	Unité géologique régionale	Origine	Ordre	Affluents	Fond de vallée	Riv. fixe/mobile	Sinuosité	Altitude		Longueur	Pente
									Amont	Avant		
	Rau de Clunomaine (source → Bruche) (St-Blaise-la-Roche)	roches cristallines et cristallophyliennes	sommet Vosges moyennes	3	RD Bruche	V, puis alluvial	mobile	xx	600	425	8	2,2
	Rau de L'Evreuil (source → Bruche) (Rig-Bruche)	roches cristallines et cristallophyliennes	sommet Vosges moyennes	3	RD Bruche	V, puis alluvial	mobile	env x	580	505	8	2,5
	Rau de Champcoisy (source → Bruche) (St-Blaise-la-Roche)	roches cristallines et cristallophyliennes	sommet Vosges moyennes	3	RG Bruche	V, puis alluvial	fixe, puis mobile	x, puis xx (xxx)	790	420	7	5
	Schirgoutte (source → Bruche)	roches cristallines et cristallophyliennes	sommet Vosges moyennes	3	RD Bruche	V (U), puis alluvial	fixe (puis mobile)	x	970	400	7,5	8
	Rau d'Albet (source → Bruche) (Rothau)	Dévonien	sommet Vosges moyennes	3	RG Bruche	V, puis alluvial	fixe, puis mobile	env x	580	330	5,25	5
	Rau de la Rothaine (source → Bruche) (Rothau)	roches cristallines...	sommet Vosges moyennes	3	RD Bruche	V, puis alluvial	fixe (puis mobile)	env x	1040	330	8,5	8
	Rau le Framont (Le Grand Gouty, Le Pré Sidel) (source → Bruche) (Schrmeck)	dévonien, grès	sommet Vosges moyennes	3	RG Bruche	V, puis alluvial	fixe (puis mobile)	env x	840	315	11	8
	Rau de la Hasel (sources amont Luttenbach)	grès	sommet Vosges moyennes	3	RG Bruche	V	fixe	x	890	315	7,5	7,7
	Rau de la Hasel (confl. Luttenbach → Bruche)	permien, grès	sommet Vosges moyennes	3	RG Bruche	alluvial	mobile	xx	315	225	7,75	1,2
	Rau de la Magel (source → Fischhutte)	roches cristallines	crête intermédiaire	3	RD Bruche	V	fixe	x	990	347	11	6
Rau de la Magel (Fischhutte → Bruch e)	grès	crête intermédiaire	3	RD Bruche	alluvial	mobile	xx	347	215	7	1,9	
Schleithal + Stillbach (source → Bruche) (env Stiff)	grès, marno-calcaires, loess	piémont	3 (4 pour Schleithal)	RG Bruche	en V, puis alluvial	fixe, puis mobile	x, puis xx	385	200	8,5	2,1	
Bras d'Altorf	alluvions, loess	défluent	2	RD Bruche	cône	mobile	xx, localement xxx	183	152	13	0,1	
Mossig	Mossig (source → amont Romanswiller)	grès	crête intermédiaire	3	RG Bruche	V	fixe	x	890	260	14	4,5
	Mossig (amont Romanswiller → Marlenheim)	grès, marno-calcaires, loess	crête intermédiaire	3	RG Bruche	alluvial	mobile	xx	260	185	4	1,9
	Mossig (Marlenheim → Bruche)	marno-calcaires, loess	crête intermédiaire	3	RG Bruche	alluvial	mobile	xx	185	170	9,75	0,15
	Le Sathbach (source → Mossig)	grès	crête intermédiaire	4	RD Mossig	V, puis alluvial	fixe, puis mobile	x, puis xx (xxx)	540	210	9	3,7
	Rau de la Scammerou (source → Mossig)	grès	crête intermédiaire	4	RG Mossig	V, puis alluvial	fixe, puis mobile	x, puis xx (xxx)	450	220	9,25	2,5
Souffel	Souffel (source → Souffelweyersheim)	loess	collines sous-vosgiennes	2	RG III	V (évasée, alluvial)	fixe	x	220	140	18,25	0,4

Bassin versant	Cours d'eau	Unité géographique régionale	Origine	Ordre	Affluents	Fond de vallée	Riv. fixe/mobile	Sinueosité	Altitude		Longueur	Pente
									Amont	Aval		
	Souffel (Souffelweyrsheim → II)	loess, alluvions vosgiennes et rhénanes	collines sous-vosgiennes	2	RG III	alluvial	mobile	x	140	132,5	6	0,1
	Leisbach (Rau d'Avenheim) (source → Souffel)	loess	collines sous-vosgiennes	3	RG Souffel	V (évasée, alluvial)	fixe	x	243	141	13,5	0,8
	Rau de la Musan (source → Souffel)	Loess	collines sous-vosgiennes	3	RD Souffel	V (évasée, alluvial)	fixe	x	189	146	12,75	0,3
Zorn	Zorn (sources → confl. Zorn Blanche)	grès	sommet Vosges du Nord	2	RD Moder	V	fixe	x	840	290	12,5	4,4
	Zorn (confl. Zorn Blanche → Saverne)	grès	sommet Vosges du Nord	2	RD Moder	alluvial	mobile	xx (localement xxx)	290	185	24	0,4
	Zorn (Saverne → Mommehaie)	marno-calcaires, loess	sommet Vosges du Nord	2	RD Moder	alluvial	mobile	xxx	185	153	29	0,1
	Zorn (Mommehaie → coude)	loess, alluvions anciennes	sommet Vosges du Nord	2	RD Moder	cône	mobile	xxx	153	128	21	0,1
	Zorn (coude → Moder)	alluvions	sommet Vosges du Nord	2	RD Moder	plaine	mobile	x (ap. rectif ^o) xxx (avt. rectif ^o)	128	125	6,75	0,04
	Zorn Blanche (source → confl. Zorn)	grès	sommet Vosges du Nord	3	RD Zorn	V	fixe	x	740	290	8,25	5,5
	Rau du Grossthal (source → Zorn)	grès	sommet Vosges du Nord	3	RD Zorn	V, puis alluvial	fixe	x	510	242	8	3,4
	Rau du Baerenbach (source → Zorn)	grès	sommet Vosges du Nord	3	RD Zorn	V	fixe	x	550	208	10,9	3,1
	Le Stutzbach (source → Zorn)	grès	sommet Vosges du Nord	3	RG Zorn	V	fixe	x	365	203	8,5	1,6
	Zinsel du Sud (source → Dossenheim)	grès	Vosges du Nord	3	RG Zorn	alluvial	mobile	xx (xxx)	295	180	zz	11,9
	Zinsel du Sud (Dossenheim → Zorn)	Piémont marno-calcaires	Vosges du Nord	3	RG Zorn	alluvial	mobile	xx (xxx)	180	170	7	0,1d
	Rau de la Mossel (source → Zorn)	grès, marno-calcaires, loess, alluvions	sommet Vosges du Nord	3	RD Zorn	V (amont, alluvial, cône (aval))	fixe, puis mobile	x, puis xx	525	167	z1	1,7
	Kohbach (Dachgraben) (source → Mossel)	marno-calcaires, loess	collines sous-vosgiennes	4	RD Mossel	V (évasé), puis alluvial	fixe, puis mobile	x, puis xxx	270	190	8,9	0,9
	Rohrbach (Heiligengraben) (source → Zorn)	marno-calcaires, loess	collines sous-vosgiennes	3	RD Zorn	alluvial	mobile	x (rectif ^o ?)	235	155	18	0,4
	Minversheimerbach (Landgraben) (source → Zorn)	loess	collines sous-vosgiennes	3	RG Zorn	alluvial	mobile	x (rectif ^o ?)	235	150	11	11,8

Bassin versant	Cours d'eau	Date géographique régionale	Origine	Ordre	Affluents	Fond de vallée	Riv. fixe/mobiles	Sinuosite	Altitude		Longueur	Pente
									Amont	aval		
Moder	Moder (source=>amont Ingwiller)	Vosges du Nord gréseuses	sommet Vosges du Nord	1	RG Rhin	alluvial (V en amont)	mobile	xx, localement xxx (x en amont)	320	188	14	0,9
	Moder (amont Ingwiller->Pflaffenhofen)	piémont, formations marno-calcaires et gréseuses, loess	sommet Vosges du Nord	1	RG Rhin	alluvial	mobile	xx	188	167	14	0,15
	Moder (Pflaffenhofen->Haguenau)	marno-calcaires, loess, alluvions würmiennes	sommet Vosges du Nord	1	RG Rhin	alluvial	mobile	x (ap rectif ^o) xxx (avt rectif ^o)	167	144	13	0,18
	Moder (Haguenau->Bischwiller)	cône de forêt de Haguenau alluvions würmiennes	sommet Vosges du Nord	1	RG Rhin	alluvial (cône)	mobile	x (ap rectif ^o) xxx (avt rectif ^o)	144	127	11 (avt rectif 14)	0,15 (avt rectif 1,12)
	Moder (Bischwiller->Rhin)	alluvions rhénanes	sommet Vosges du Nord	1	RG Rhin	grande plaine	mobile	x (ap rectif ^o) xxx (avt rectif ^o)	127	115	27	0,04
	Schneidthalbach (source=>Moder)	Vosges du Nord gréseuses	sommet Vosges du Nord	2	RG Moder	alluvial	fixe	xx	300	215	5	1,7
	Mittelbach (source=>Moder)	Vosges du Nord gréseuses	sommet Vosges du Nord	2	RD M d a	alluvial	iüe	xx	ZM)	195	12	0,5
	Soultzbach (source=>Moder)	piémont, formations marno-calcaires et gréseuses, loess	piémont	2	RD Mod a	alluvial	mobile	xx	235	119	9	0,6
	Rothbach (source=>Rothbach)	Vosges du Nord gréseuses	sommel Vosges du Nad	2	RG M a d a	alluvial	mobile	xx	300	188	12	0,9
	Rothbach (Rothbach->Moder)	piémont, formations marno-calcaires et gréseuses, loess	sommet Vosges du Nord	2	RG Mod a	alluvial	mobile	xx	188	168	10	0,2
	Zinsel du Nord (Moderbach, Bildmühle) (sources=>Zinswiller)	Vosges du Nord gréseuses	sommet Vosges du Nord	2	RG Moder	alluvial	mobile	xx	315	180	22	0,6
	Zinsel du Nord (Zinswiller->Mertzwiller)	piémont, formations marno-calcaires et gréseuses, loess	sommet Vosges du Nord	2	RG Moder	alluvial	mobile	xxx	180	156	11	0,2
	Zinsel du Nord (Mertzwiller->Moder)	cône de forêt de Haguenau alluvions würmiennes	sommet Vosges du Nord	2	RG Moder	alluvial (cône)	mobile	xxx	156	146	8,5	0,1
	Falkensteinbach (source=>Niederbron)	Vosges du Nord gréseuses	sommet Vosges du Nad	5	RG Lrwel du nord	alluvial	mobile	xx	260	195	17	0,4
	Falkensteinbach (Niederbron=>Zinsel du Nord)	piémont, formations marno-calcaires et gréseuses, loess	sommet Vosges du Nad	3	RG Zinsel du nord	alluvial	mobile	xx	195	166	9,5	10,3
	Schwarzbach (Mühlenbach, Schnepfenbach) (source=>Reichshoffen)	Vosges du Nord gréseuses	sommel Vosges du Nord	4	RG Falkensteinbach	alluvial	mobile	xx	290	173	24	0,5
Landgraben (source=>Ohlungen)	marno-calcaires, loess	collines marno-calcaires et loessiques	2	RD Moder	alluvial	mobile	x	235	163	7,5	1	
Landgraben (Ohlungen=>Moder)	cône de forêt de Haguenau alluvions würmiennes	sommet Vosges du Nord	2	RD Moder	alluvial	mobile	x (ap rectif ^o) xx (avt rectif ^o)	163	146	4	0,4	

Bassin versant	Cours d'eau	Unité géographique régionale	Origine	Ordre	Affluents	Fond de vallée	Riv. fixe/mobile	Sinueosité	Altitude		Longueur	Pente
									Amont	Avant		
	Kesselgraben (Eichgraben, Walsgraben) (source → Moder)	plaine rhénane	plaine (phréatique)	2	RD Moder	alluvial	mobile	xx	129	125	10	0,04
	Vieille Zorn (source → Kesselgraben)	plaine rhénane	plaine (phréatique)	3	RD Kesselgraben	alluvial	mobile	xx	128	125	5	0,06
	Hellergraben (Lohgraben, Schlossgraben) (sources → Kurtzenhuse)	loess (autre-Kochersberg)	collines loessiques	3	RG Waldgraben	alluvial	mobile	x	185	132	8	0,6
	Hellergraben (Kurtzenhuse → Waldgraben)	plaine rhénane	collines loessiques	3	RG Waldgraben	alluvial	mobile	xx	132	127	3	0,2
Sauer	Sauer (Lombach → Lembach)	Vosges gréseuses du Nord	Vosges gréseuses	1	RG Rhin	alluvial	mobile	xx	205	195	4,5	0,2
	Sauer (Lembach → Bilibschtein)	marne-calcaires (fossé de Lembach)	Vosges gréseuses	1	RG Rhin	alluvial	mobile	xx (xxx)	195	157	13,5	0,3
	Sauer (Bilibschtein → Nieder rheindorf)	marge nord du cône pliocène de forêt Haguenau ; au nord : plateau loessique	Vosges gréseuses	1	RG Rhin	alluvial	mobile	xx	157	137	8	0,25
	Sauer (Niederbetschdorf → Koenigsbrück)	cône pliocène de forêt Haguenau	Vosges gréseuses	1	RG Rhin	alluvial (cône)	mobile	xxx	137	127	9	0,1
	Sauer (Koenigsbrück → Rhin)	alluvions rhénanes	Vosges gréseuses	1	RG Rhin	grande plaine	mobile	xxx (ancien lit du Rhin)	127	112	19	0,08
	Steinbach (source → Sauer)	Vosges gréseuses du Nord	Vosges gréseuses	2	RD Sauer	alluvial	mobile	xx	250	195	9	0,6
	Heimbach (source → Sauer)	Vosges gréseuses du Nord	Vosges gréseuses	2	RG Sauer	alluvial	mobile	xx	280	185	7	1,4
	Soultzbach (source → Langensoultzbach)	Vosges gréseuses du Nord	Vosges gréseuses	2	RD Sauer	alluvial	mobile	xx	310	200	8	
	Soultzbach (Langensoultzbach → Sauer)	marne-calcaires (fossé de Lembach)	Vosges gréseuses	2	RD Sauer	alluvial	mobile	xx	ZW	170	d	
	Schmelzbach (source → Sauer)	grès, marne-calcaires	Vosges gréseuses	2	RG Sauer	alluvial	mobile	xx	270	190	87	
	Bieberbach (Halbmuehlbach) (défluent → confluent)	cône pliocène de forêt Haguenau	défluent (ou dérivation ?)	1	défluent RD (qui rejoint la Sauer)	alluvial	mobile	xxx	161	128	27,5	
	Eberbach (source → Hinterfeld)	collines marne-calcaires et loessiques	collines	2	RD Sauer	alluvial	mobile	xx (xxx)	235	161	10,5	0,7
	Eberbach (Hinterfeld → Soufflenheim)	cône pliocène de forêt Haguenau	collines	2	RD Sauer	alluvial (cône)	mobile	xxx	161	125	25	0,14
	Eberbach (Soufflenheim → Sauer)	alluvions rhénanes	collines	2	RD Sauer	grande plaine	mobile	xx (ancien lit du Rhin)	125	116	8,5	0,1

Bassin versant	Cours d'eau	Unité géographique régionale	Origine	Ordre	Affluents	Fond de vallée	Riv. fixe/mobile	Sinueosité	Altitude		Longueur	Pente
									Amont	Aval		
	Seltzbach (source=>Soultz)	collines marno-calcaires	collines marno-calcaires	2	RG Sauer	alluvial	mobile	xx	215	150	8,5	0,8
	Seltzbach (Soultz=>Sauer)	collines loessiques	collines	2	RG Sauer	alluvial	mobile	xx (xxx)	150	113	21,5	0,2
	Froeschwillerbach (source=>Seltzbach)	grès, collines marno-calcaires et loessiques	sommet des Vosges gréseuses	3	RG Seltzbach	V, puis alluvial	mobile	x, puis xx	365	145	7,5	3
	Hausauerbach (source=>Seltzbach)	grès, collines marno-calcaires et loessiques	sommet des Vosges gréseuses	3	RG Seltzbach	alluvial	mobile	xx	250	135	14	0,8
	Bremmelbach (Schemperbach, Kuchenbaechel) (source=>Hausauerbach)	grès, collines marno-calcaires et loessiques	sommet des Vosges gréseuses	4	RD Hausauerbach	alluvial	mobile	xx	315	144	9	1,9
	Warsbach (source=>Seltzbach)	collines loessiques	collines loessiques	3	RG Seltzbach	vallée évasée (colluvions loessiques)	fixe, puis mobile	x, puis xx	170	127	10	0,4

Réseau hydrographique de la plaine au Nord de Strasbourg

Bassin versant	Cours d'eau	Unité géographique régionale	Origine	Ordre	Affluents	Fond de vallée	Riv. fixe/mobile	Sinueosité	Altitude		Longueur	Pente
									Amont	Aval		
Réseau hydrographique de la plaine au Nord de Strasbourg	Landgraben (Neuhächel, Muehlhächel, Bruchgraben, Stegbach) (source=>Vendenheim)	loess	collines loessiques	2	RG Muehlrhein	V (évasée, alluvial)	fixe	x	200	139	9	0,7
	Landgraben (Neuhächel, Muehlhächel, Bruchgraben, Stegbach) (Vendenheim=>Oberried)	alluvions anciennes de la Zorn	collines loessiques	2	RG Muehlrhein	cône	mobile	xx	139	131	7	0,1
	Landgraben (Neuhächel, Muehlhächel, Bruchgraben, Stegbach) (Oberried=>Muehlrhain) (Offendorf)	alluvions rhénanes anciennes	collines loessiques	2	Affluent de RG du Muehlrhein (Offendorf)	plaine	mobile	x en amont (fossé ?), puis xx	131	128	12	0,03

Longueur totale des cours d'eau caractérisés ci-dessus : 2027,95 km

Longueur totale des cours d'eau sélectionnés : 1199 km.

CARACTERISATION DE LA MAJORITE DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE D'ALSACE A PARTIR DE LA TOPOGRAPHIE, LA LITHOLOGIE ET LES FORMATIONS SUPERFICIELLES ET SELECTION DES COURS D'EAU A ETUDIER POUR L'ELABORATION D'UNE

TYPOLOGIE HYDRO-GEOMORPHOLOGIQUE DES RIVIERES EN ALSACE

II. Rivières de plaine alimentées en tout ou partie par la nappe phréatique (défluents actuels ou anciens de l'IZ et du Rhin)

Les rivières sélectionnées sont identifiées par une trame grise, et, pour les regroupements de défluents ellans, par des caractères gras.

Critères de sélection :

- on a cherché à sélectionner des cours d'eau des différents types de Rieds de la plaine elio-rhénoise ;
- à représenter les différents modes d'alimentation des rivières (phréatique, semi-phréatique, connexion amont temporaire, défluence...) ;
- on a sélectionné préférentiellement les rivières les plus longues, et dont certaines caractéristiques ont fait l'objet d'études antérieures (hydrologie, géomorphologie).

(Cette sélection est susceptible d'évoluer en fonction de l'avancée du travail de terrain).

Unité géographique	Drain	Mode d'alimentation	Ordre	Affluents	Localisation amont	Localisation aval	Longueur approximative (km)	Remarques
Ried rhénan (Ried Blond et Ried Brun)	Lichterbach (Westergraben, Westerlachgraben, Heulachgraben)	phréatique	2	RD Rau de la Weil	Sundhouse	Gerstheim	15	
	Wurnsgraben (Hofmattgraben), Riedgraben	phréatique	3	RG Muhlbach de Daubensand	Boofzheim	Ouest Daubensand	5	
	Muhlbach (Gerstheim)	semi phréatique	2	RG canal alimentation III	aval Gerstheim		5	
	Rau de la Weil (amont Gerstheim)	semi phréatique (connexion ellanc temporaire)	3	RG Muhlbach (défluence de la Zomba)	aval Genlheim		3,5	
	Neuergraben (Istergraben)	contre-canal de drainage Rhin	4-3 (respectivement)	RG Muhlbach Daubensand	Friesenheim	Daubensand	6	
	Ischert	semi-phréatique (connexion amont au Rhin pérenne)	2	RG contre-canal drainage Rhin	Artzenheim (Muhlbach)	Friesenheim	29	
	Muhlbach (Ottmarsheim - Biesheim)	différentes prises d'eau ?	1	RG Giessen de Biesheim	Ottmarsheim	Biesheim	35	
Ried ellan (Ried Gris)	Brunnenwasser (Allmendgraben)	phréatique (connexion amont à l'III pendant inondations)	2	RD canal de décharge de III	Est Matzenheim	Est Erstein	7	
	Lutter	phréatique	2	RD III	Huttenheim	Benfeld	4,5	
	Brunnenwasser, Dachsbrunnen	phréatique	3	RD Fecht	SW Illhausern		5	réseau de défluents ellans
	Braunbrunnenwasser	phréatique + prise sur Fecht	3	RD Fecht	SW Illhausern		5	Ried ellan (Fecht)
	Orchbach	phréatique	2	RD Brunnenwasser (défuent RD III)	Holtzwihr	Illhausern	10	
	Muehlbach (Muhlbach, Mehgraben), Grundelgraben, Bieberbaechel... Brunnenwasser	semi-phréatique, connexion amont à l'III, apports du piémont vosgien	2 et 3	RG III		Sud Sélestat	7 (env.)	
	phréatique connexion amont à l'III ?	3	RD Bieberbaechel		Sud Sélestat	3,5		

Unité géographique	Drain	Mode d'alimentation	Ordre	Affluents	Localisation amont	Localisation aval	Longueur approximative (km)	Remarques
Ried ellan (Ried Gris) (suite)	Beimwasser, Neugraben, Krummloch, Forstloch, Pett, Rheinweg, Schiffwasser, Oberriedgraben, Hollockgraben, Schiffweg, Dreiwasser, Riedloch, Kleinschluth	phréatique + connexion amont à l'III (système de défluent de RD III)	1	Défluent RD III	ouest de l'Illwald		30 au total sélection : 14,5	Réseau complexe de défluent ellans de l'Illwald
	Holzgiessen	III	1	Défluent RG III	Ebersheim	Ebersmunster	4	
	Muehlbach	III	1	défluent RD III	amont Ebersmunster		2,5	
	Schwarzloch, Fischerchluth, Fosgraben, Hamloch, Barmen	III et phréatique	1	défluent RD III	Ehriwihr	Kogenheim	12,5 au total sélection : 7	réseau de défluent ellans
Ried Noir	Krummgraben	phréatique	3	RG Westgraben	SW Obenheim		7	
	Trulygraben	phréatique	5	RD Rau Weil	W Obenheim		5	
	Laufgraben Quellgraben	phréatique	3	RD Zembs	Bindernheim	Rosfeld	7	
	Landweggraben	phréatique	3	RD Zembs	aval Muttersholtz		7	
	Priesengraben, Kesslergraben, Schiffgraben	phréatique	2	RD Bomen	Baldenheim	Ebersmunster	10	
	Zembs	semi-phréatique (connexion ellans amont temporaire)	2	RD canal décharge III	Ebersmunster	Krafft	21	
	Blind (source=>Rigole Widenholen)	phréatique	2	RD III	Wihr-en-plaine	Riedwihr	8,5	
	Blind (Rigole Widenholen=>III)	semi-phréatique	2	RD III	Riedwihr	Ehriwihr	17	
Neugraben, Buttenwasser, Obermittlengraben, Untermittlengraben, Scheidgraben	phréatique	1, 2 et 3	RD III	Est et Sud Illwald		22 au total sélection : 15,5	rivères rectilignes (basés de drainage ?) de l'Illwald	

N.B. : - La sinuosité et la pente ne figurent pas dans ce tableau car ces variables sont quasi-invariantes pour les cours d'eau de la plaine ello-rhénane. Leur sinuosité est comprise entre 1,2 et 1,3 (sauf certains lits anthropisés mentionnés en « remarques ») et leur pente entre 0,05 et 0,07 % (la pente de la plaine dans le secteur Brisach-Strasbourg varie entre 0,06 et 0,08 %).

- Les cours d'eau ont été regroupés selon leurs modes d'alimentation plutôt que selon la codification hydrographique du Bassin du Rhin de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse.

Longueur totale des cours d'eau caractérisés ci-dessus (sélectionnés et non sélectionnés) : 294 km

Longueur totale des cours d'eau sélectionnés : 142,5 km.

Annexe 3

CARTES GENEREES A PARTIR DE LA BASE DE DONNEES HYDRO-GEOMORPHOLOGIQUE

Figure 1 : Carte des types de fond de vallée.

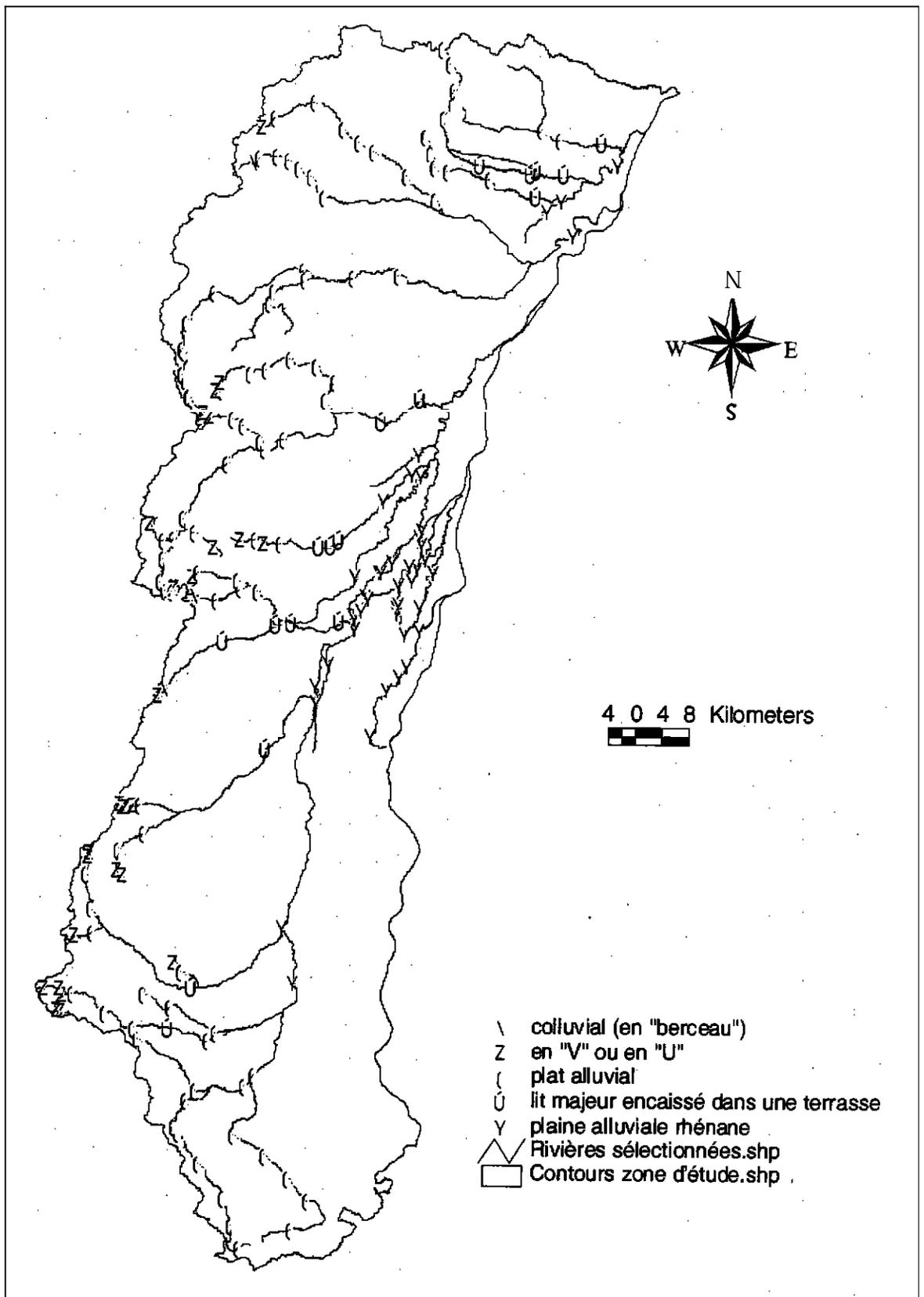


Figure 2 : Carte des styles fluviaux.

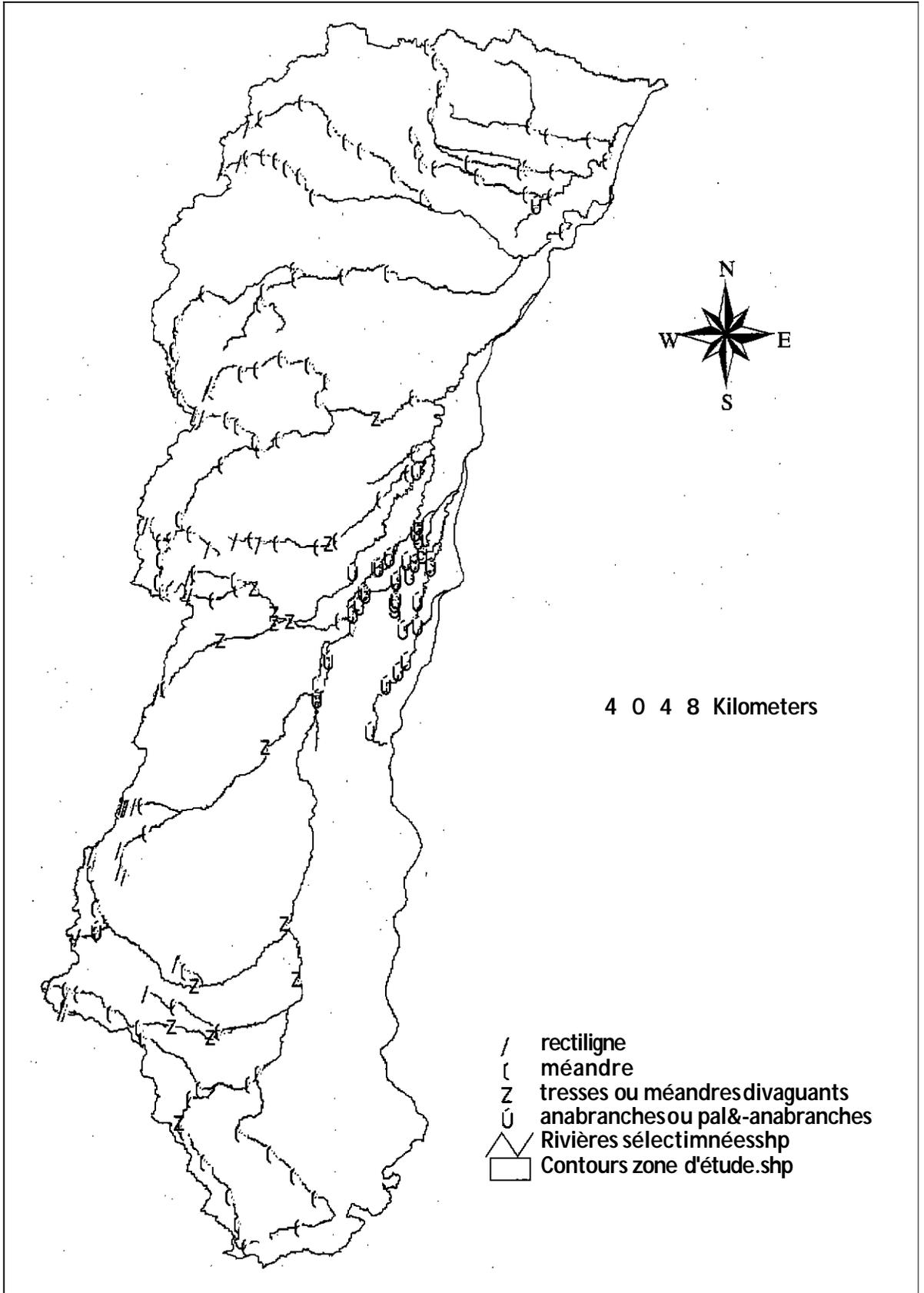


Figure 3 : Carte des types de charge solide (origine et importance).

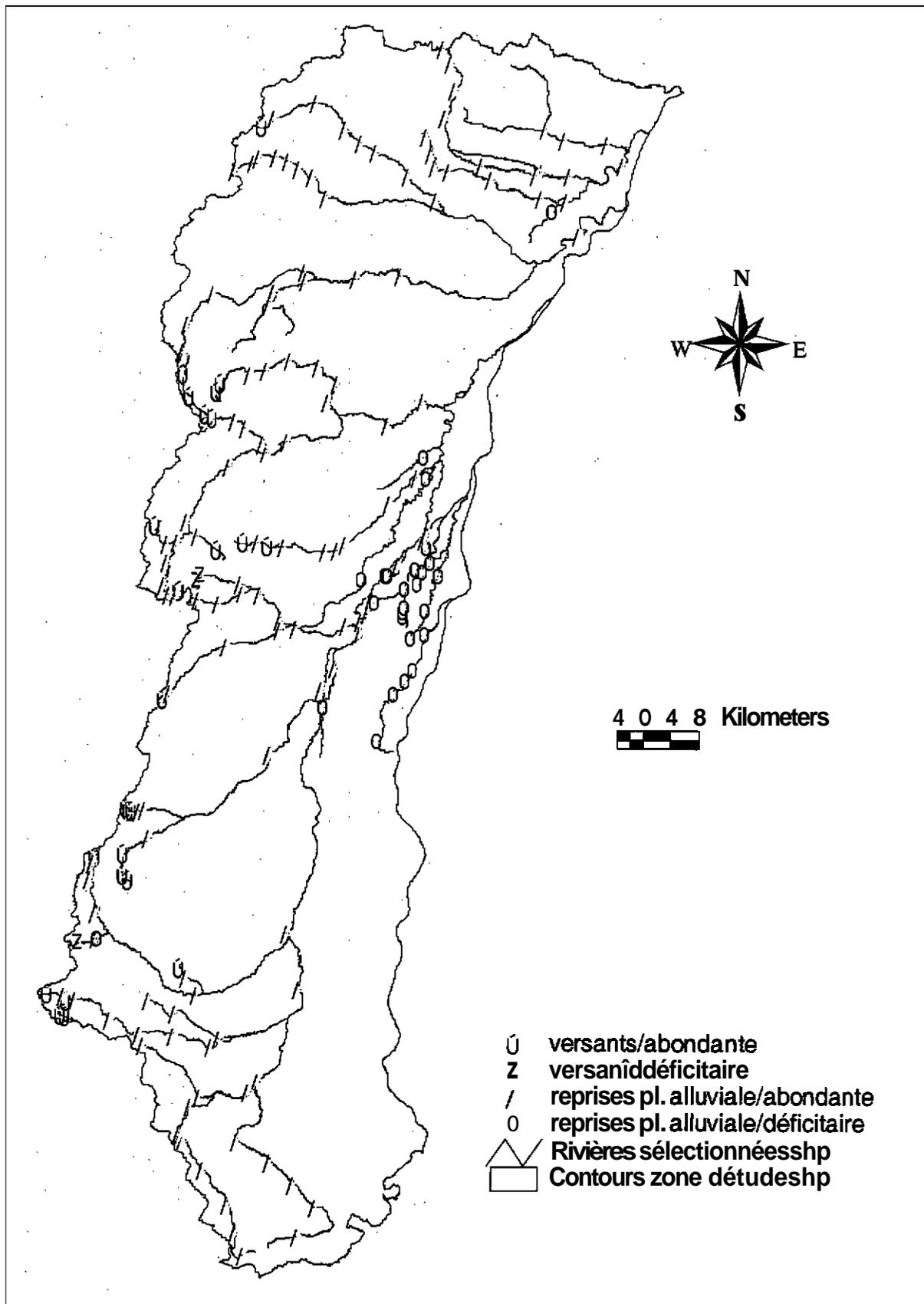


Figure 4 : Carte des types de ganulométrie « dominante ».

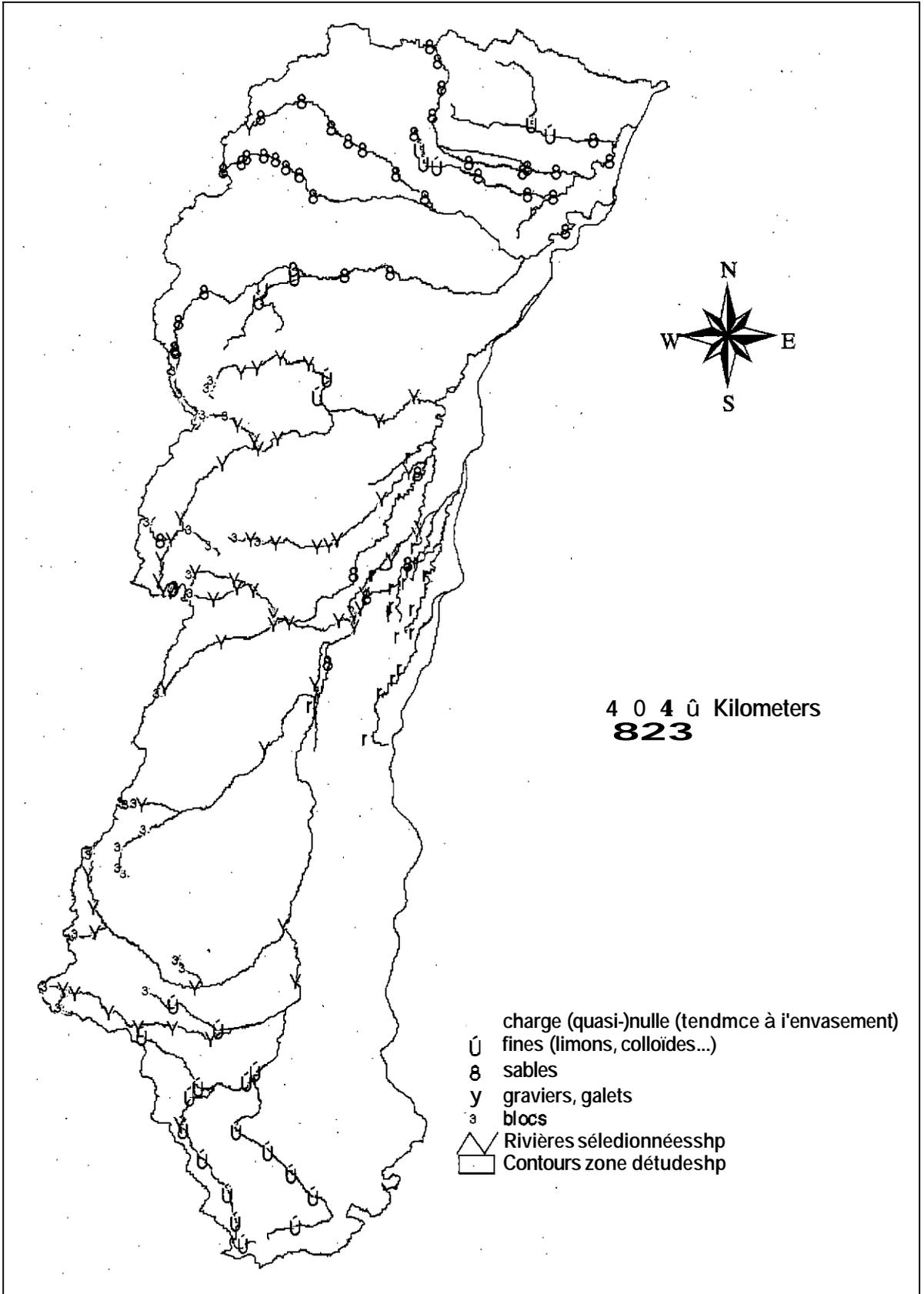


Figure 5 : Carte des types de dynamique naturelle des lits.

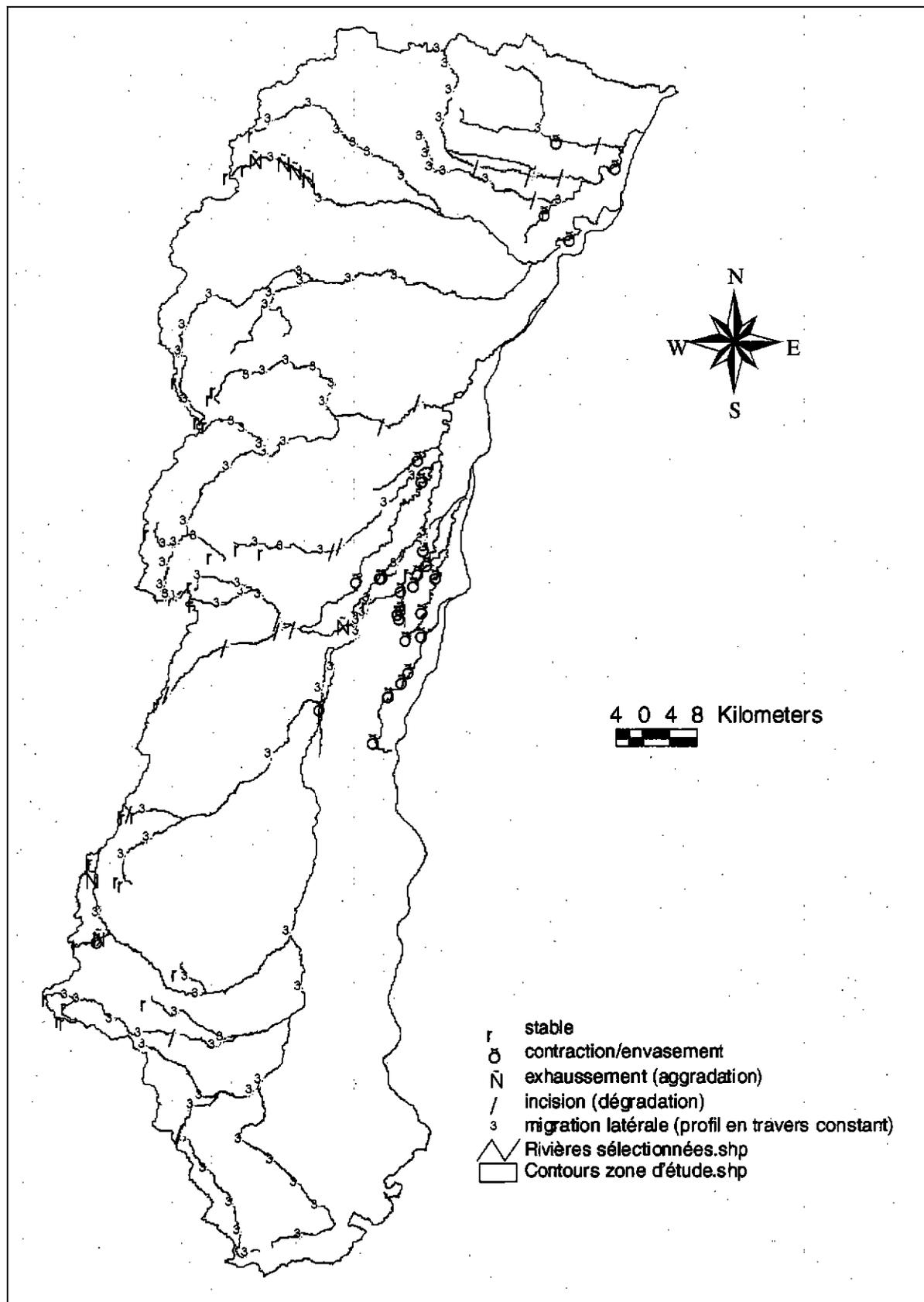


Figure 6 : Carte des valeurs du rapport d'encaissement (rapport largeur fond de vallée à largeur lit mineur à pleins bords ; Rosgen, 1996).

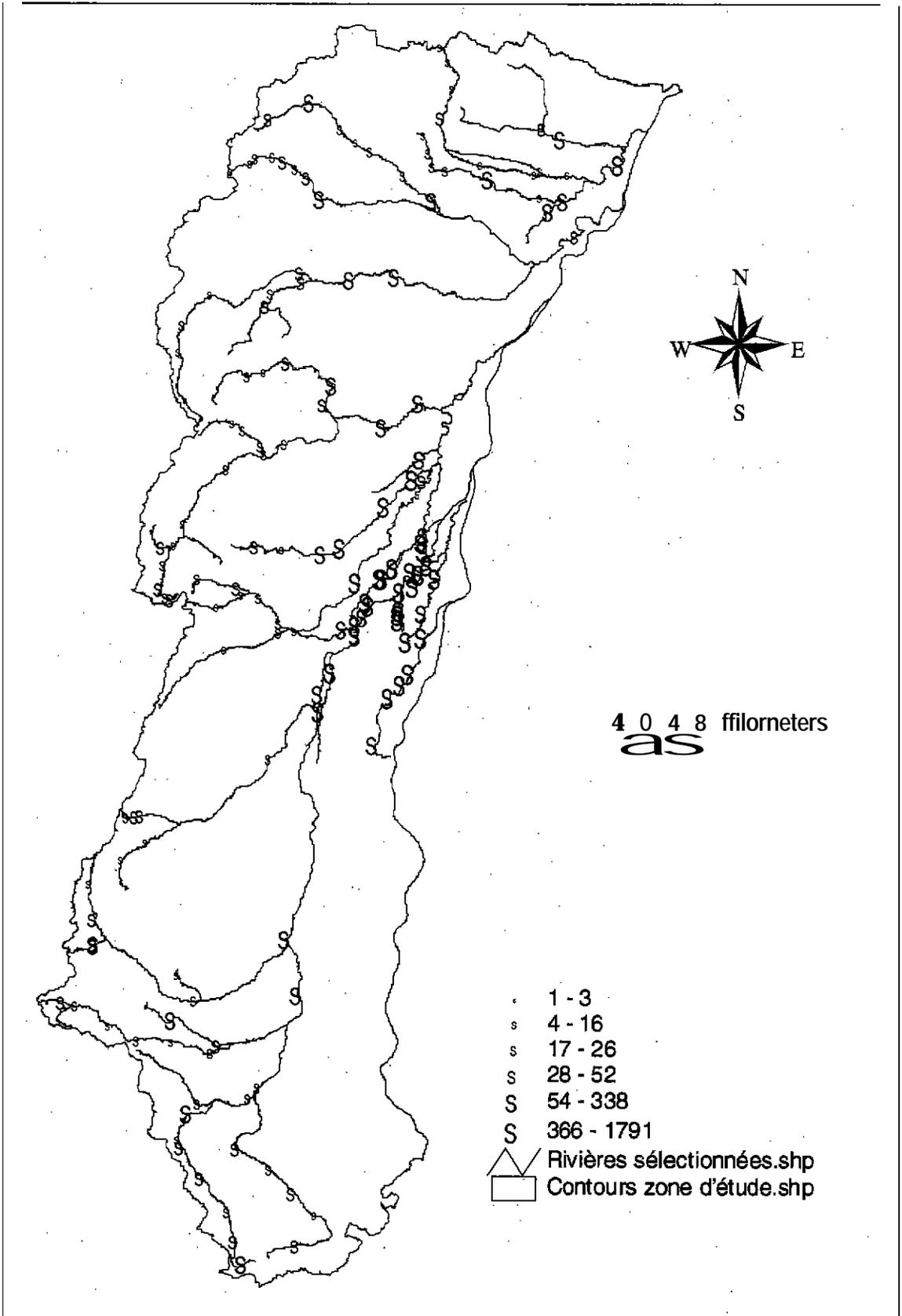


Figure 7 : Carte des valeurs d'indice de sinuosité,

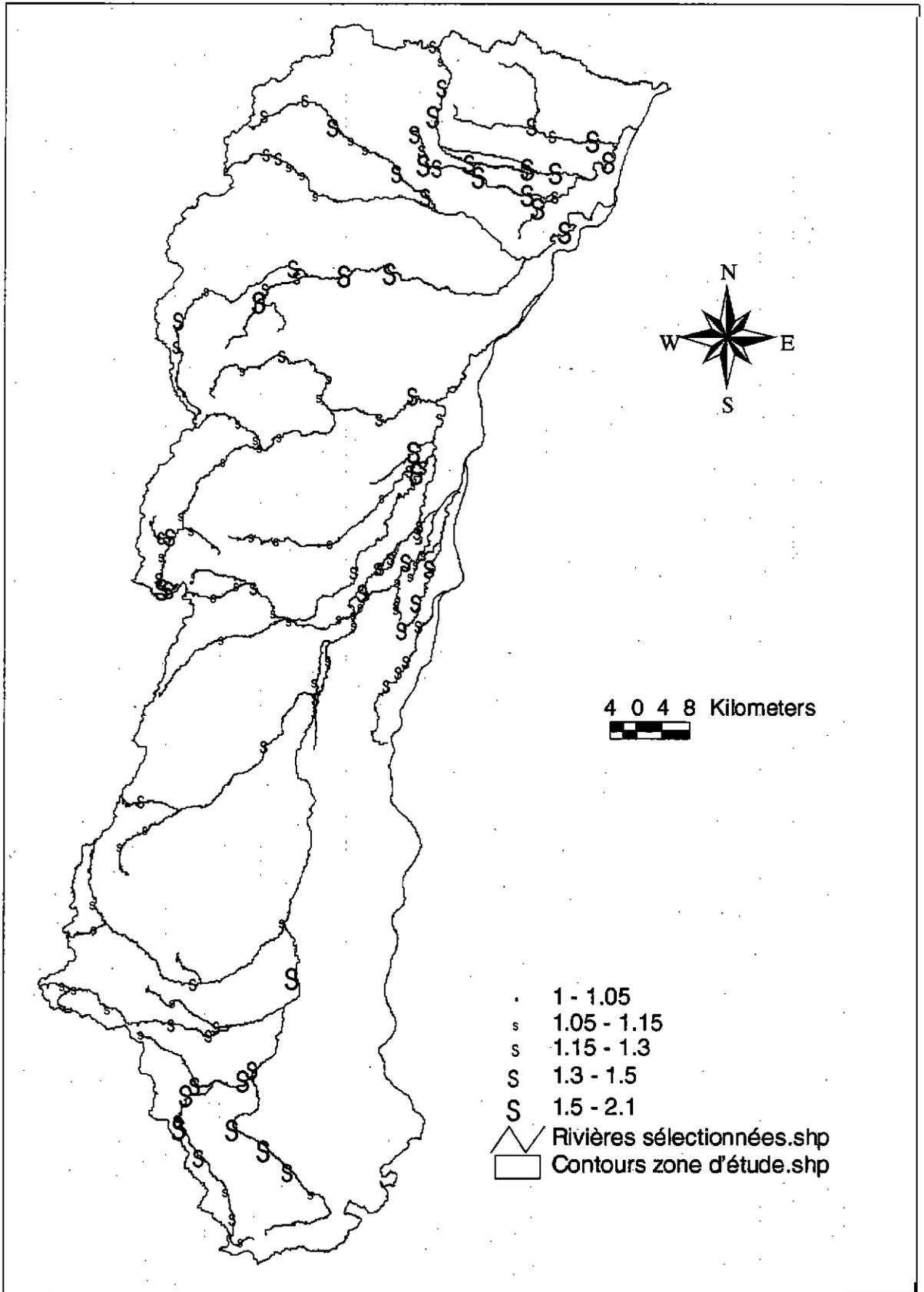


Figure 8 : Carte des valeurs de puissance spécifique ($W.m^{-2}$).

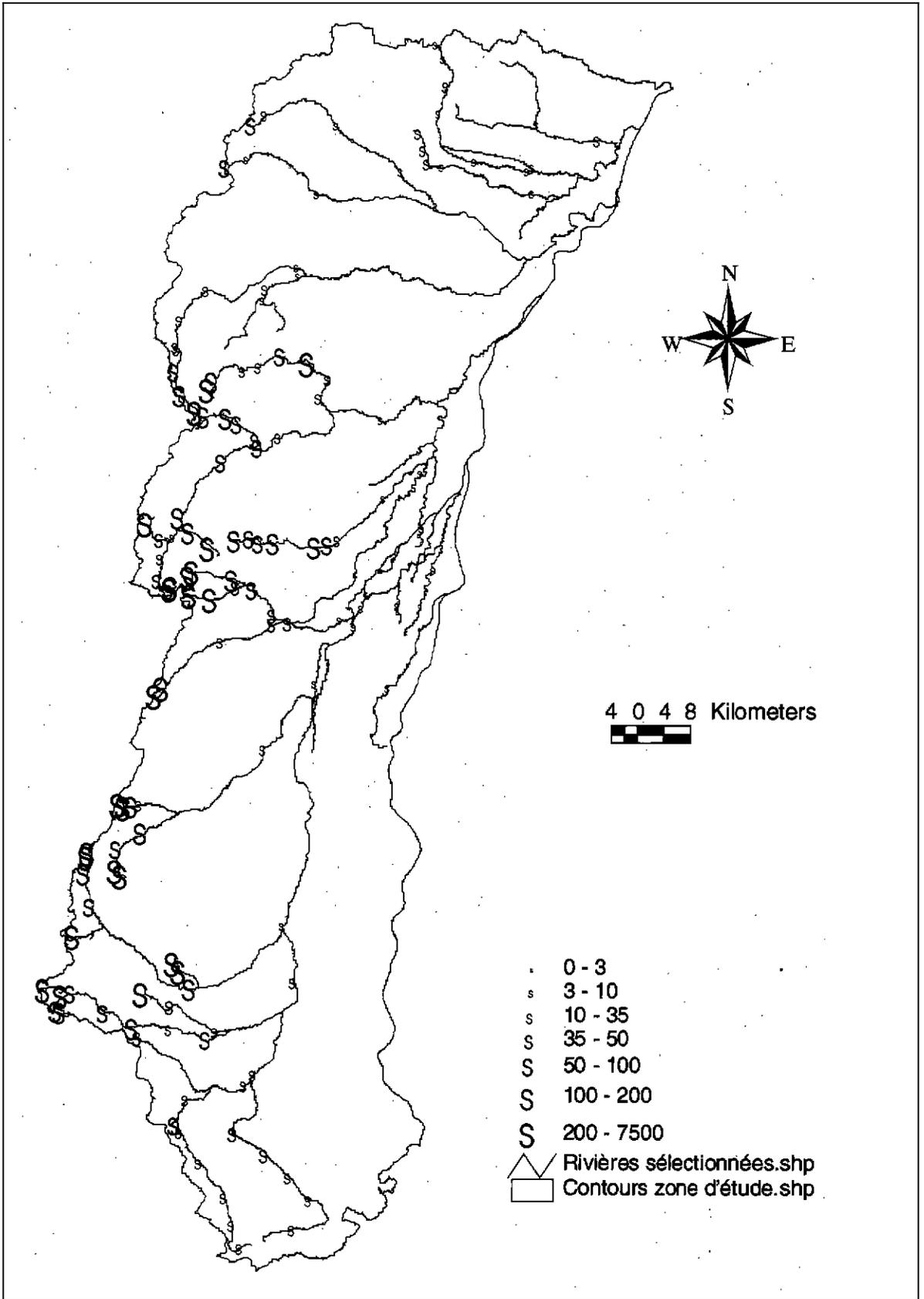
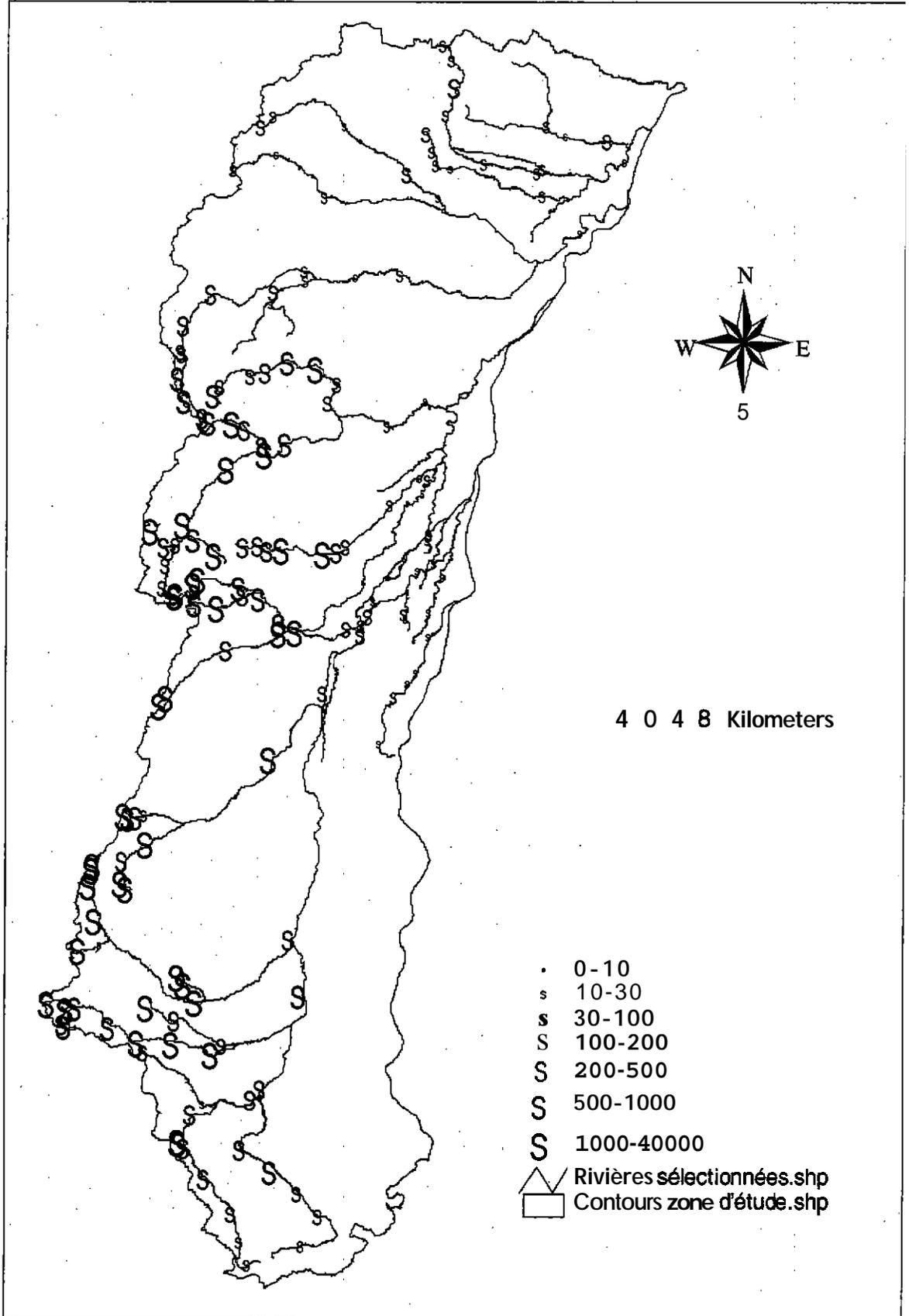
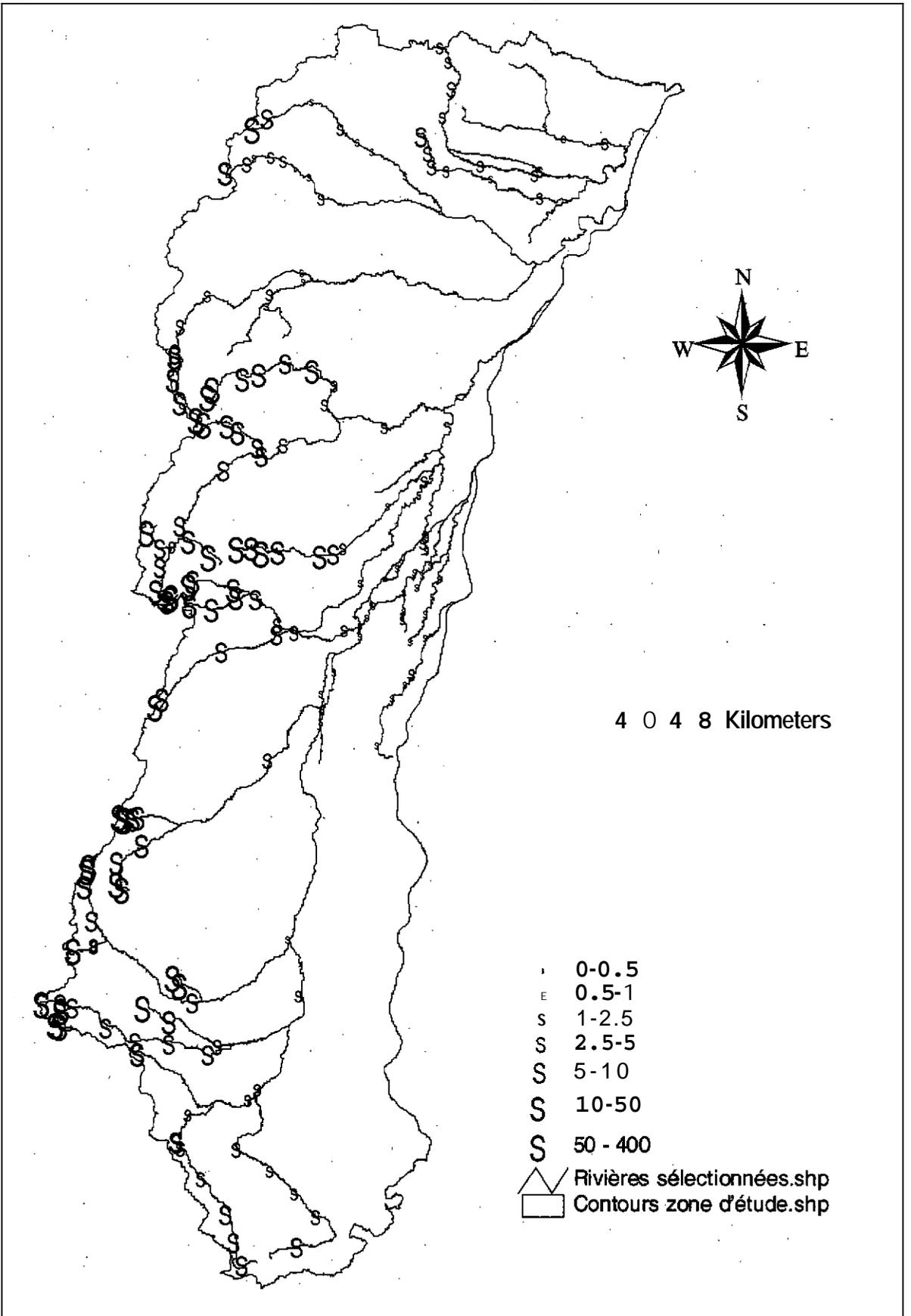


Figure 9 : Carte des valeurs de puissance brute ($W.m^{-1}$).



gure 10 : Carte des valeurs de pente moyenne de la ligne d'eau (%).



ure 11 : Carte des valeurs du rapport largeur/profondeur.

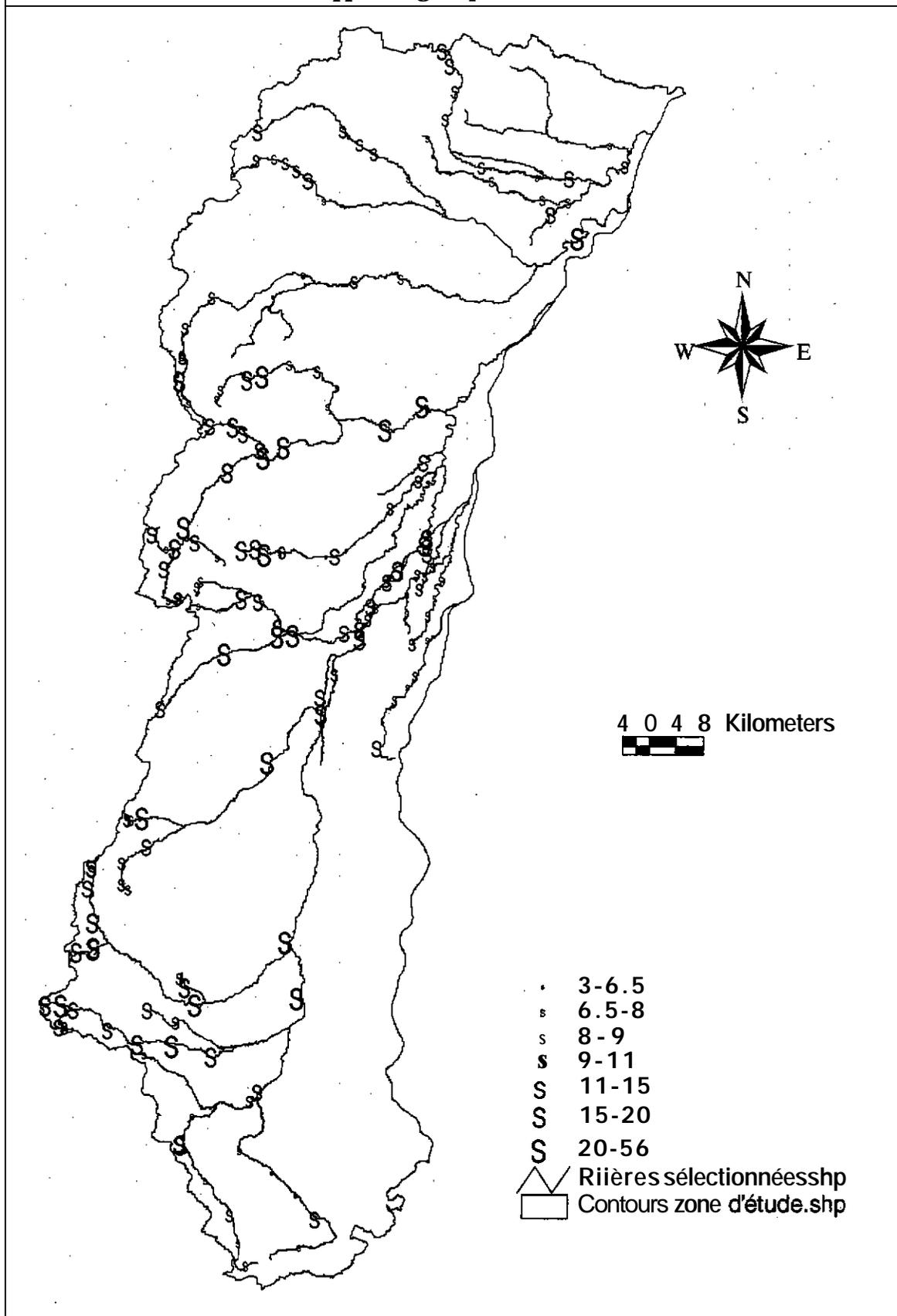


Figure 12: Carte des valeurs de granulométrie des sédiments du fond des lits (largeur de bêche ; mm).

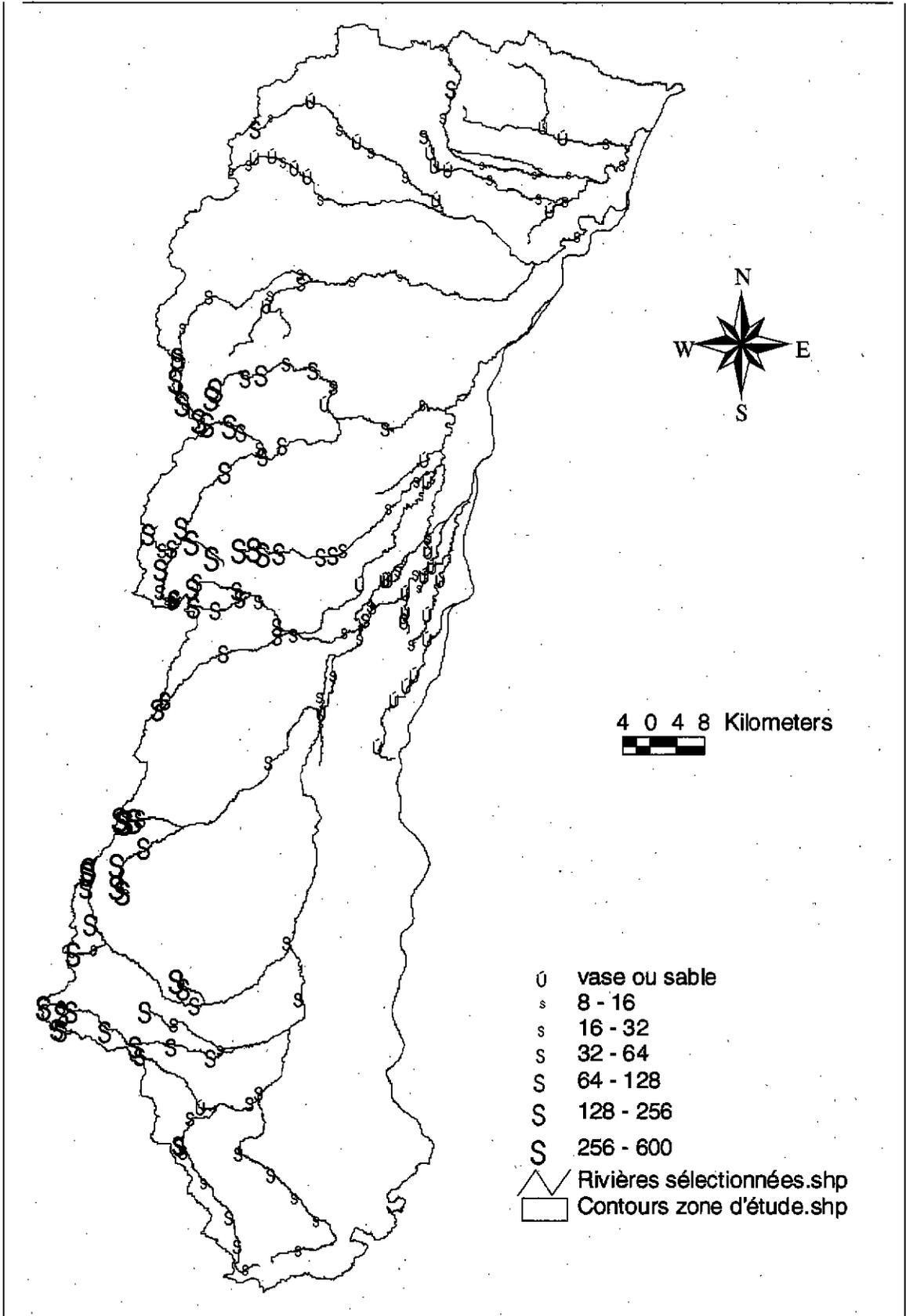


Figure 13 : Carte des valeurs de tri des sédiments du fond des lits (coefficient de variation de la granulométrie).

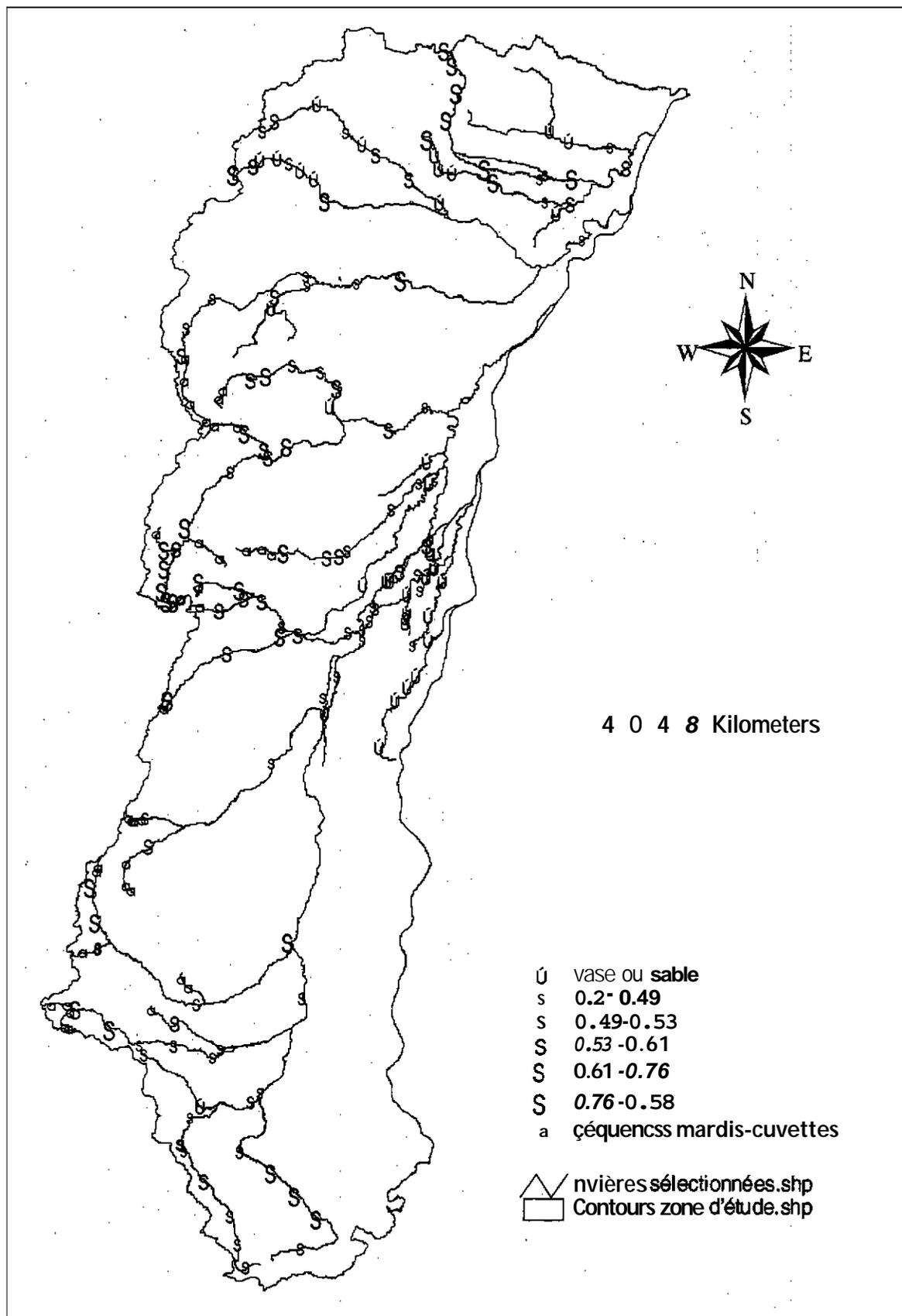


Figure 14 : Carte des valeurs du pourcentage de berges sapées.

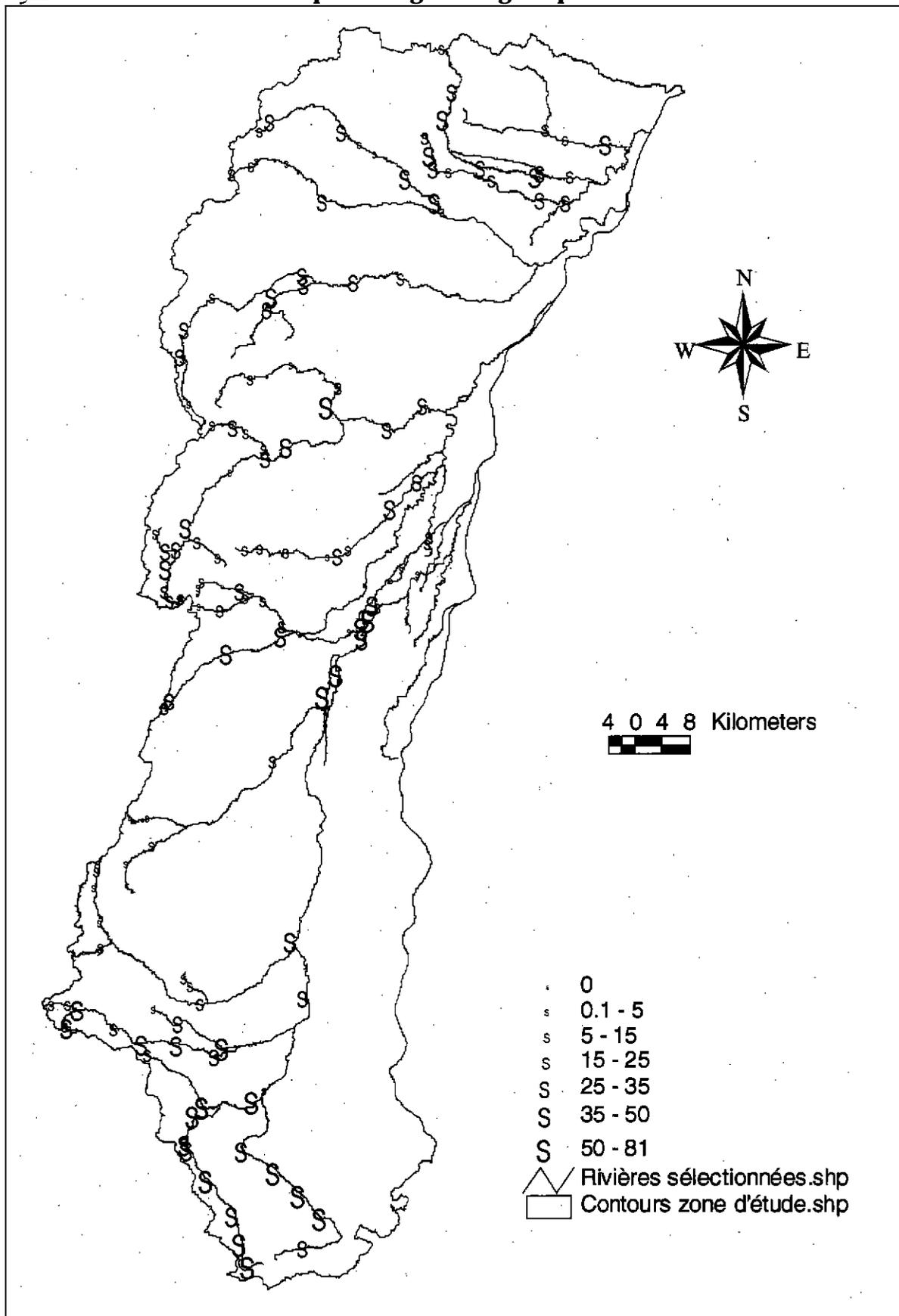


Figure 15 : Carte des valeurs du pourcentage de berges soumises à des dépôts sablo-graveleux sous forme de bancs (bancs latéraux et médians).

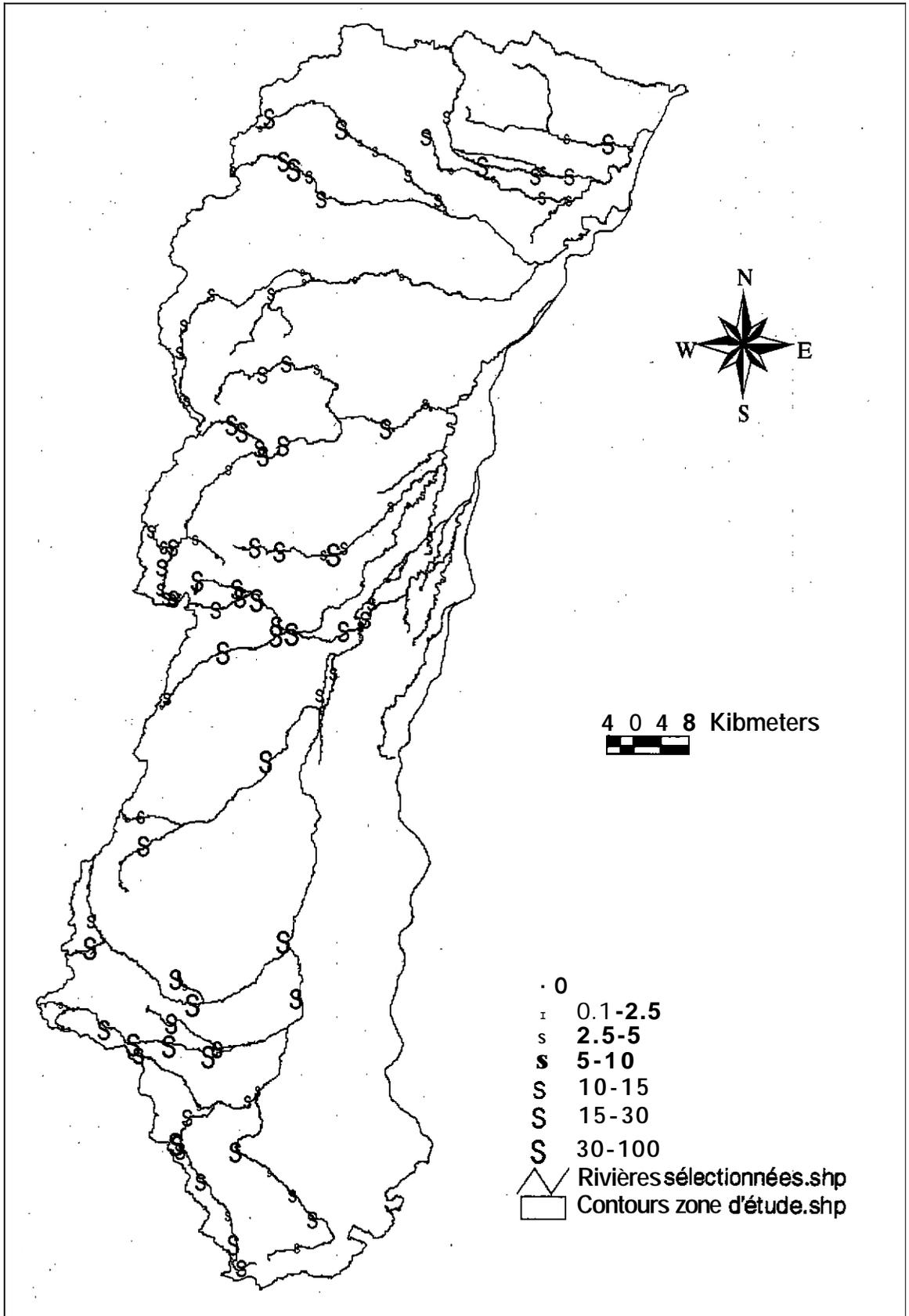


Figure 16 : Carte des valeurs de l'indice de mobilité par étude diachronique de cartes (1885-1990).

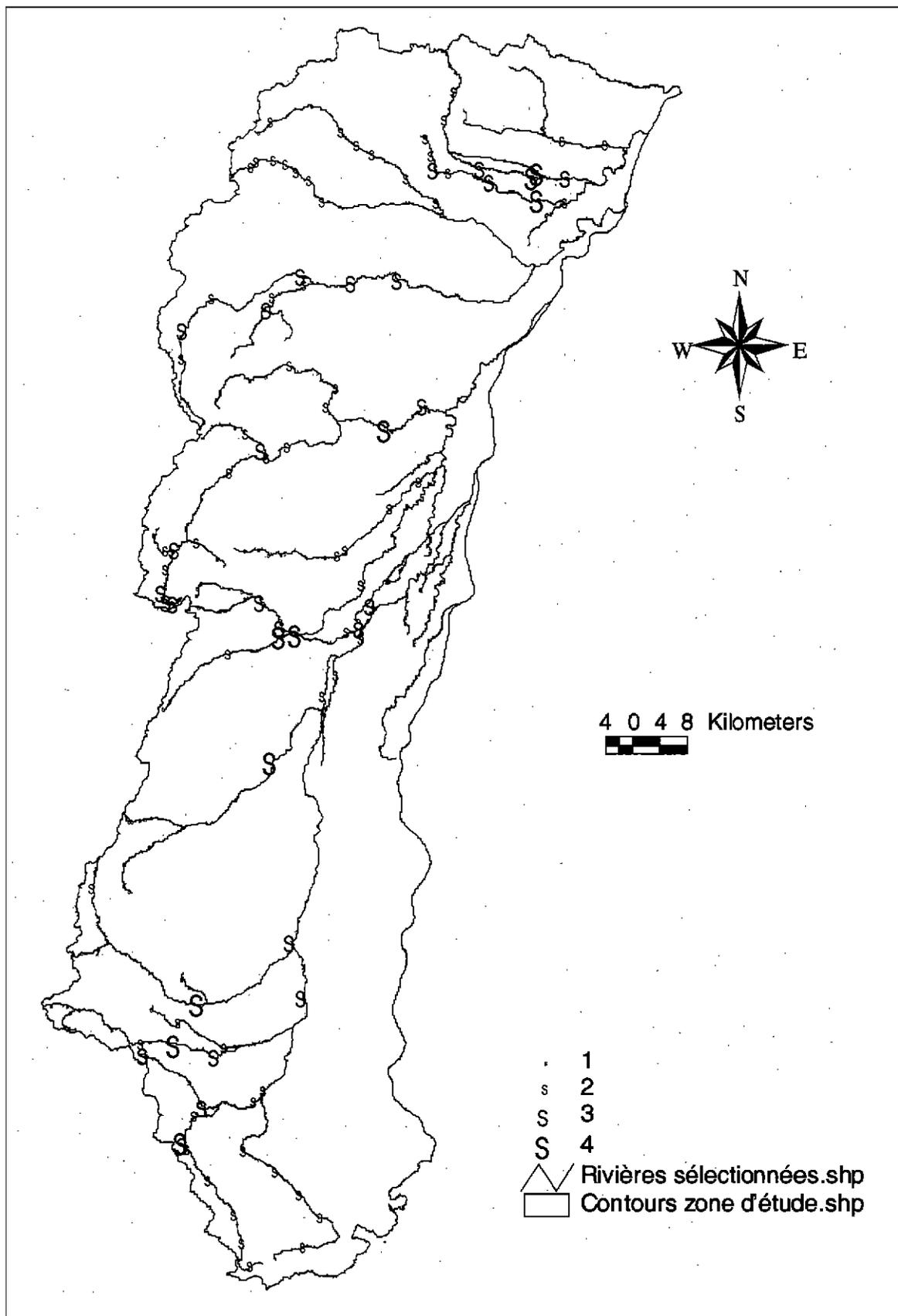


Figure 18 : Carte des valeurs de l'indice de mobilité de Hankuch.

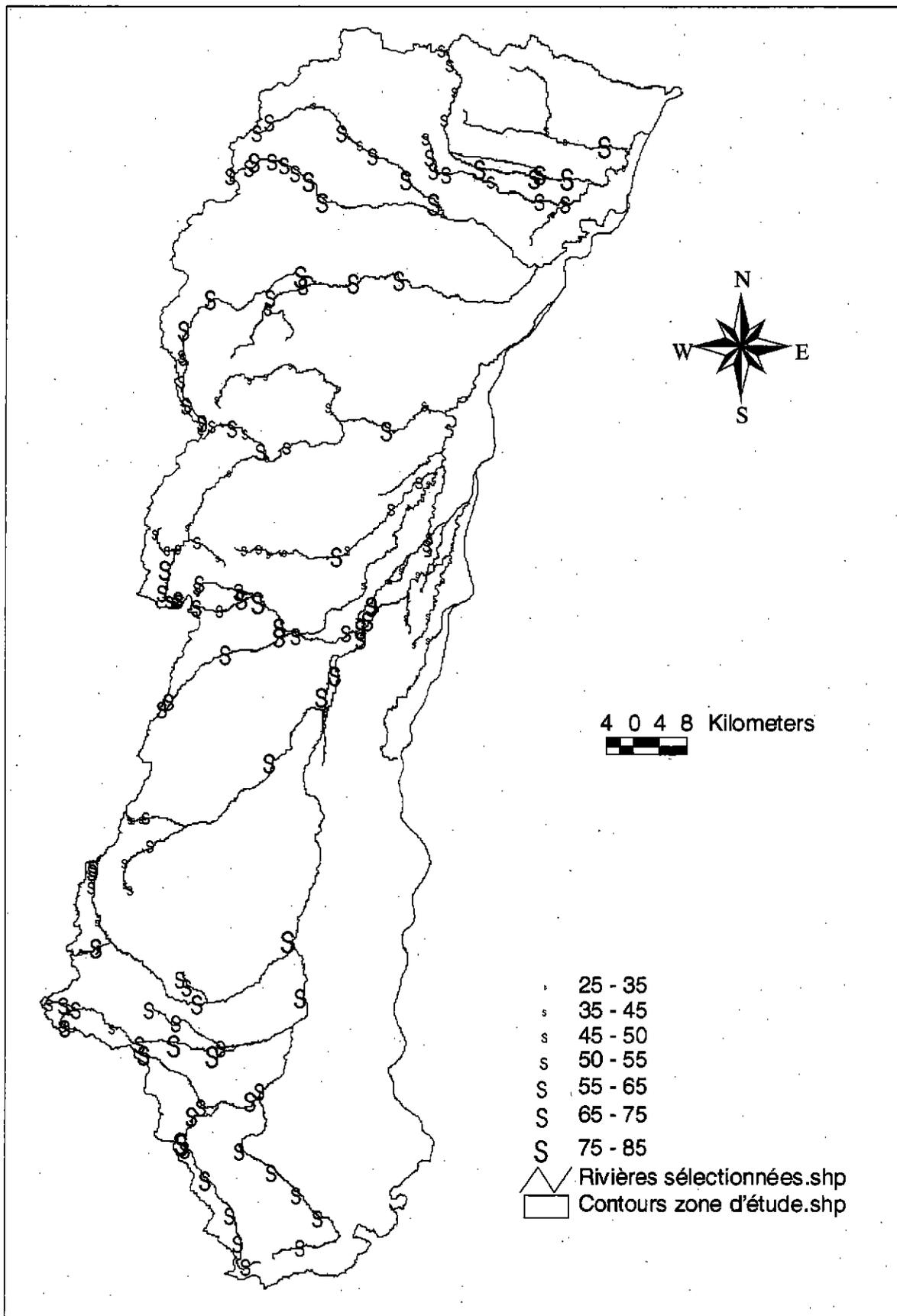


Figure 19 : Carte des valeurs du pourcentage de faciès d'écoulement « lotiques » (« bedrock », « marche », « rapide » et « seuil »).

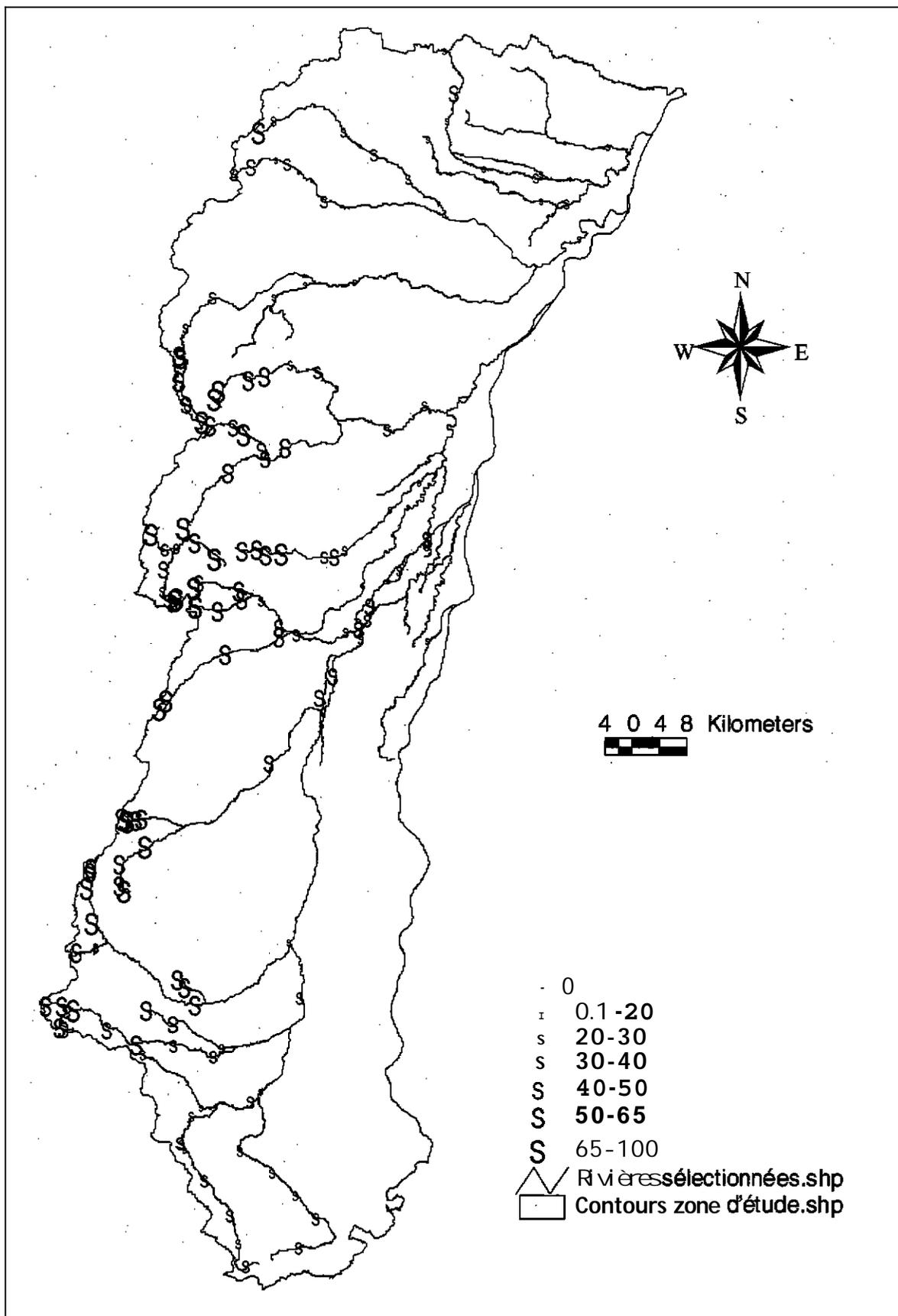
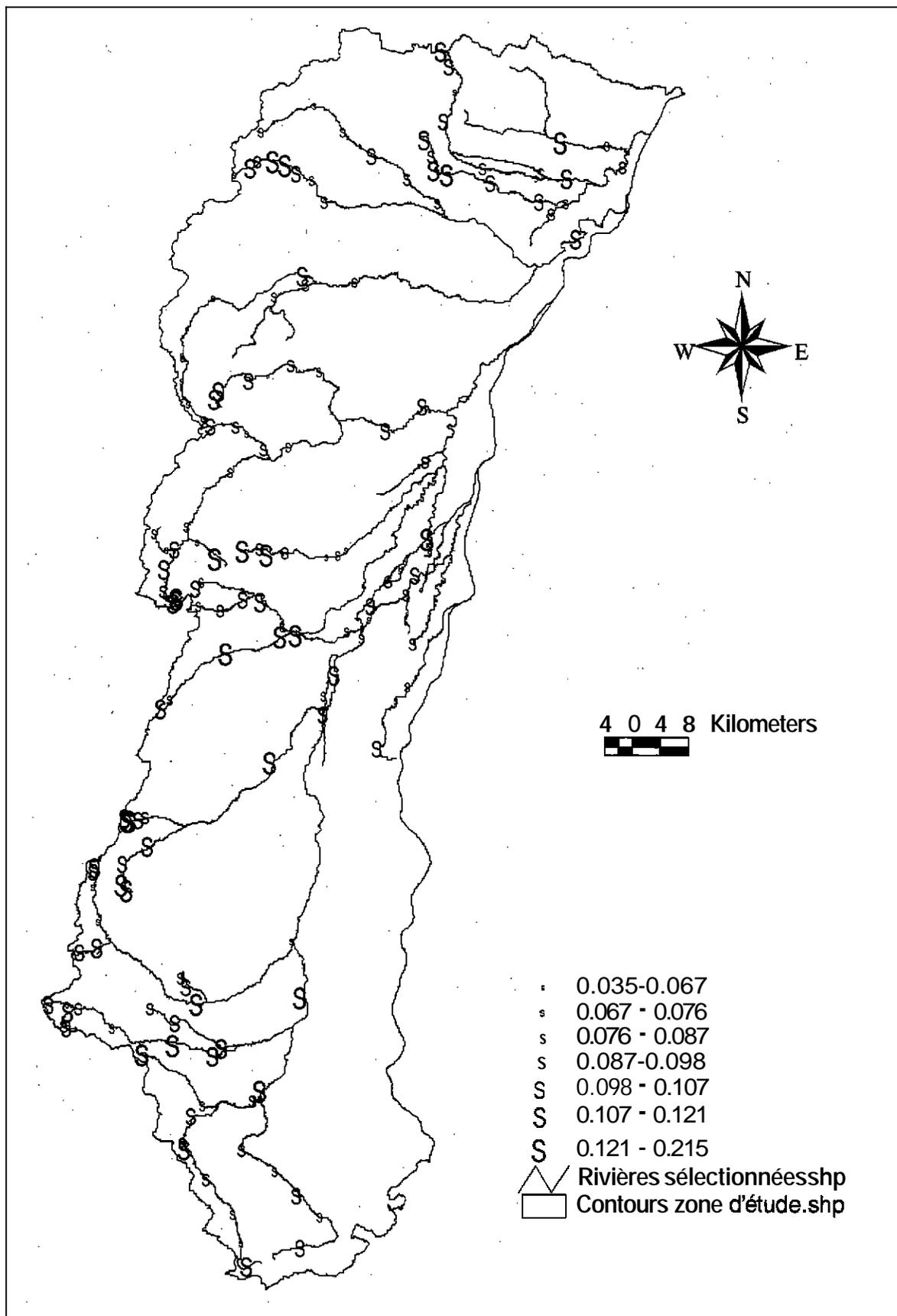


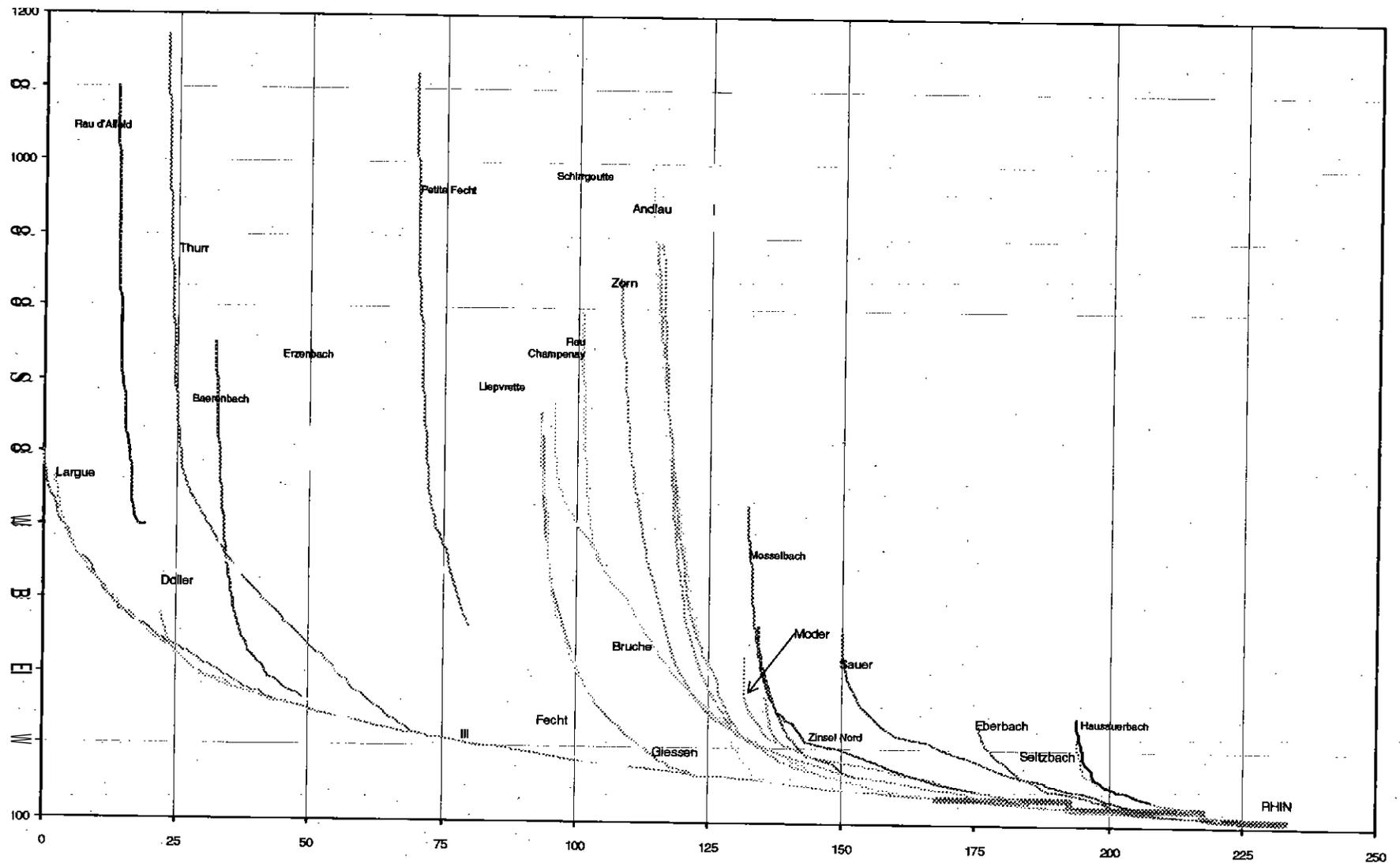
Figure 20: Carte des valeurs de la rugosité (coefficient n de Manning estimé d'après la méthode de Cowan, cité par Carier, 1986).



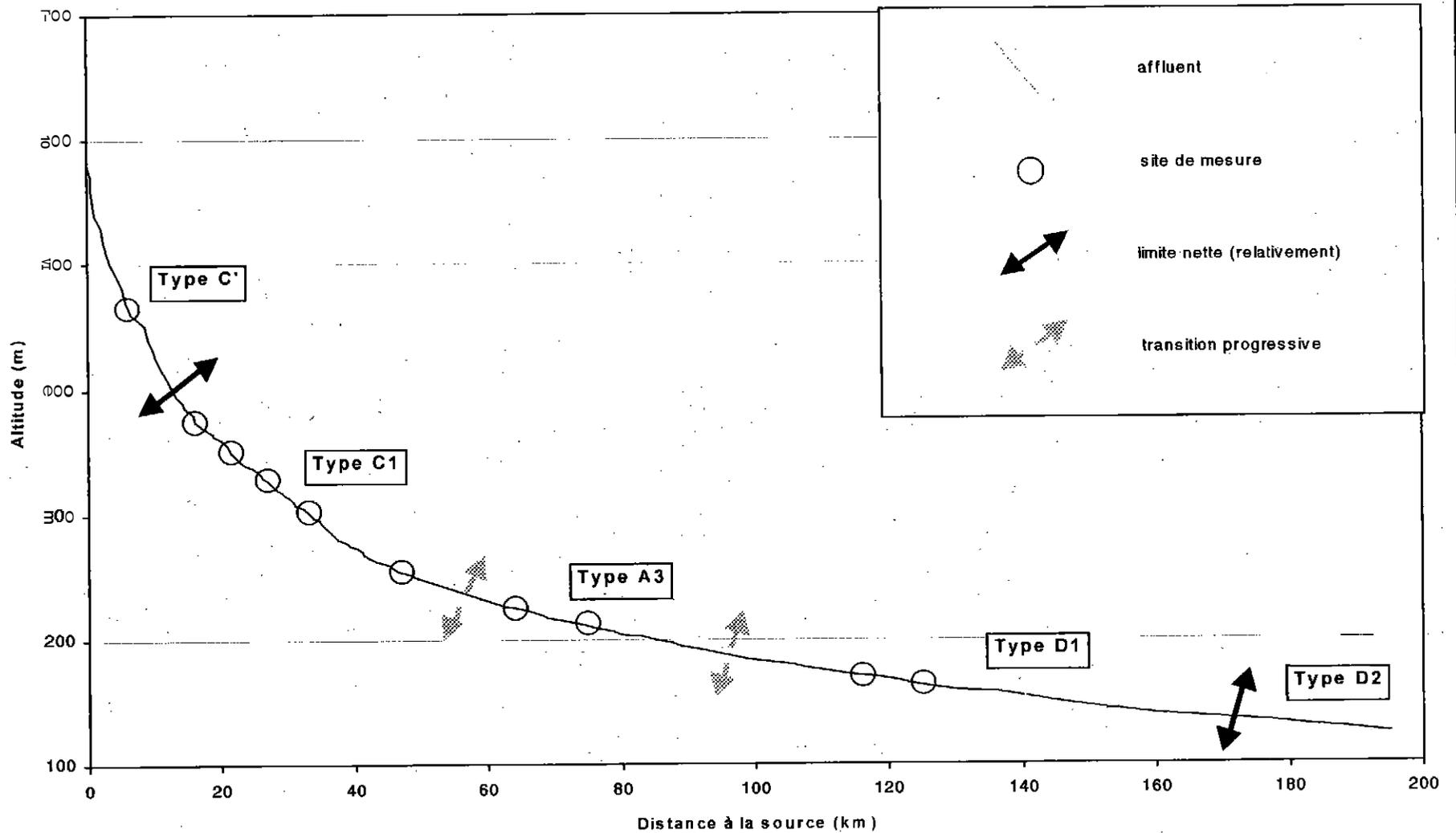
Annexe 4

SECTORISATIONS DES COURS D'EAU SELECTIONNES

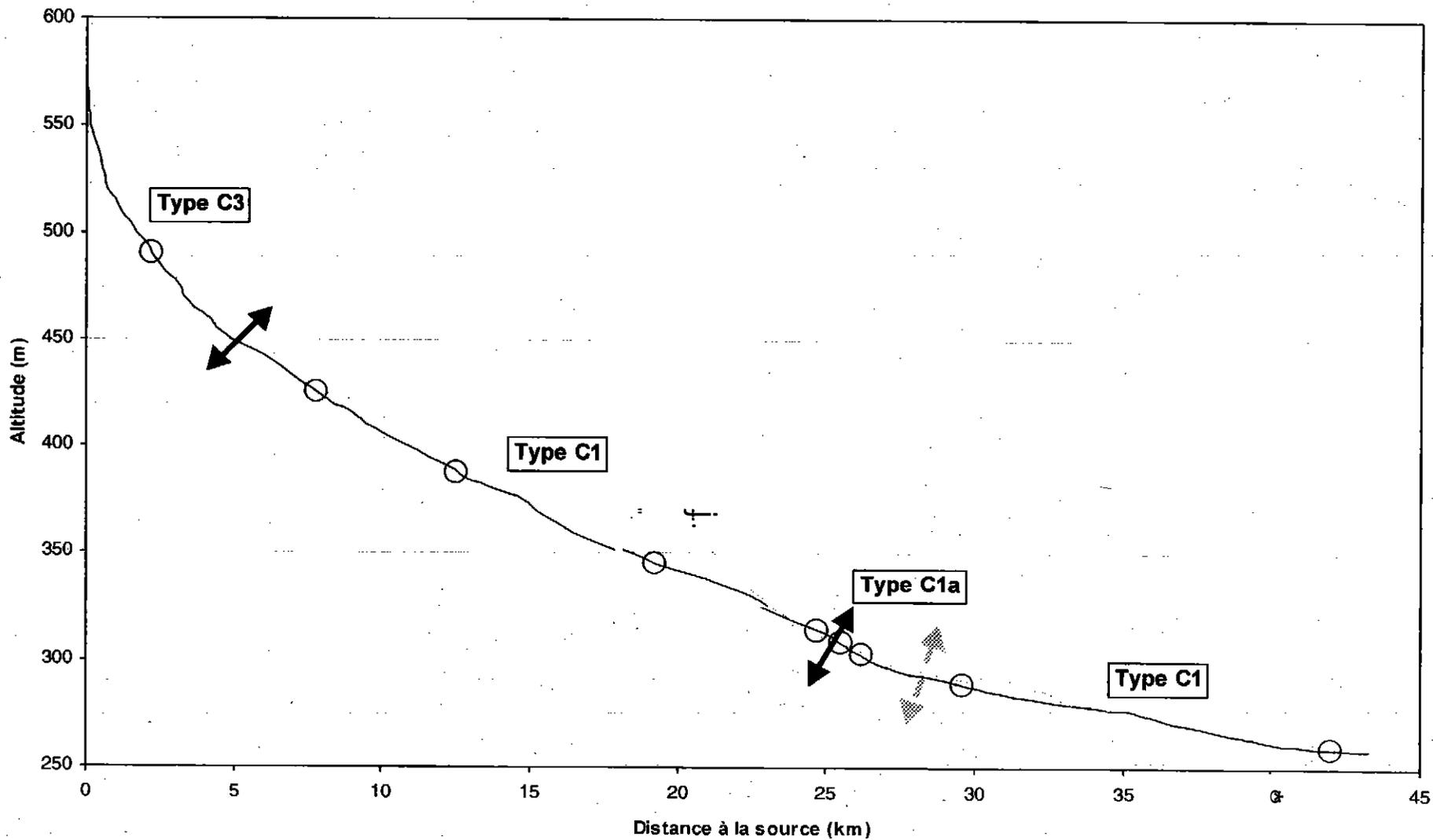
Profils en long des corridors fluviaux des rivières sélectionnées



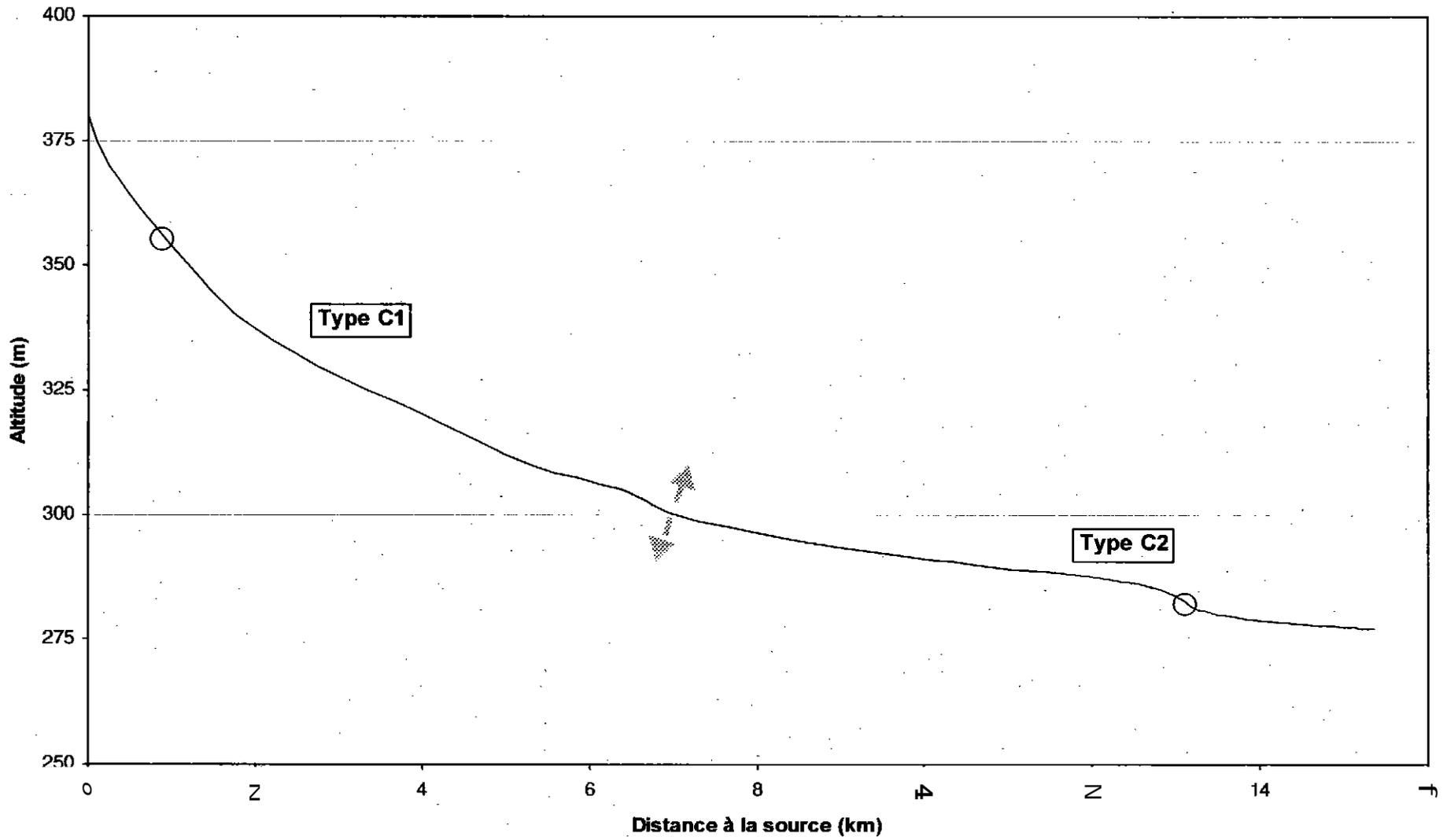
Sectorisation de l'III



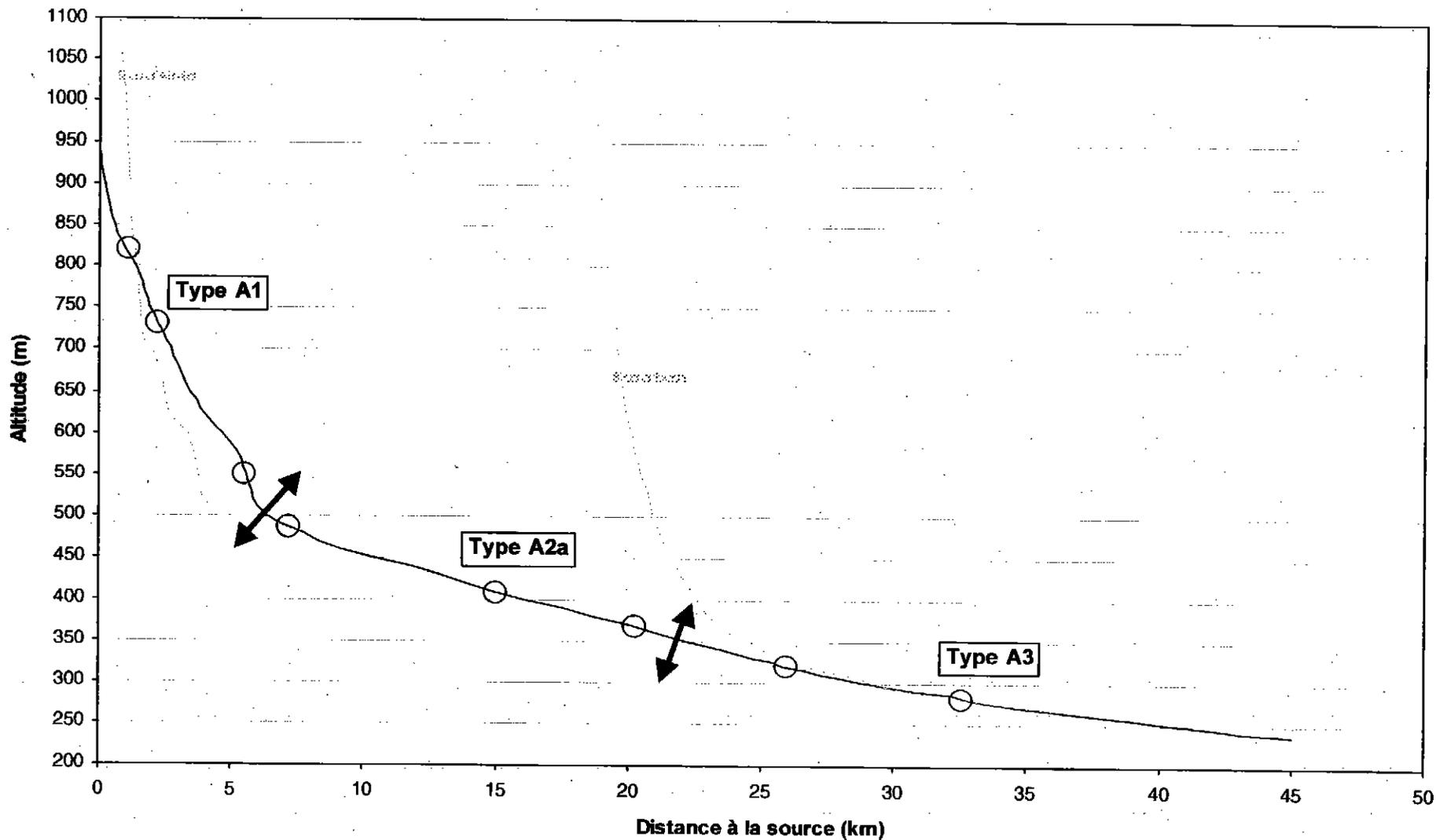
Sectorisation de la Lague



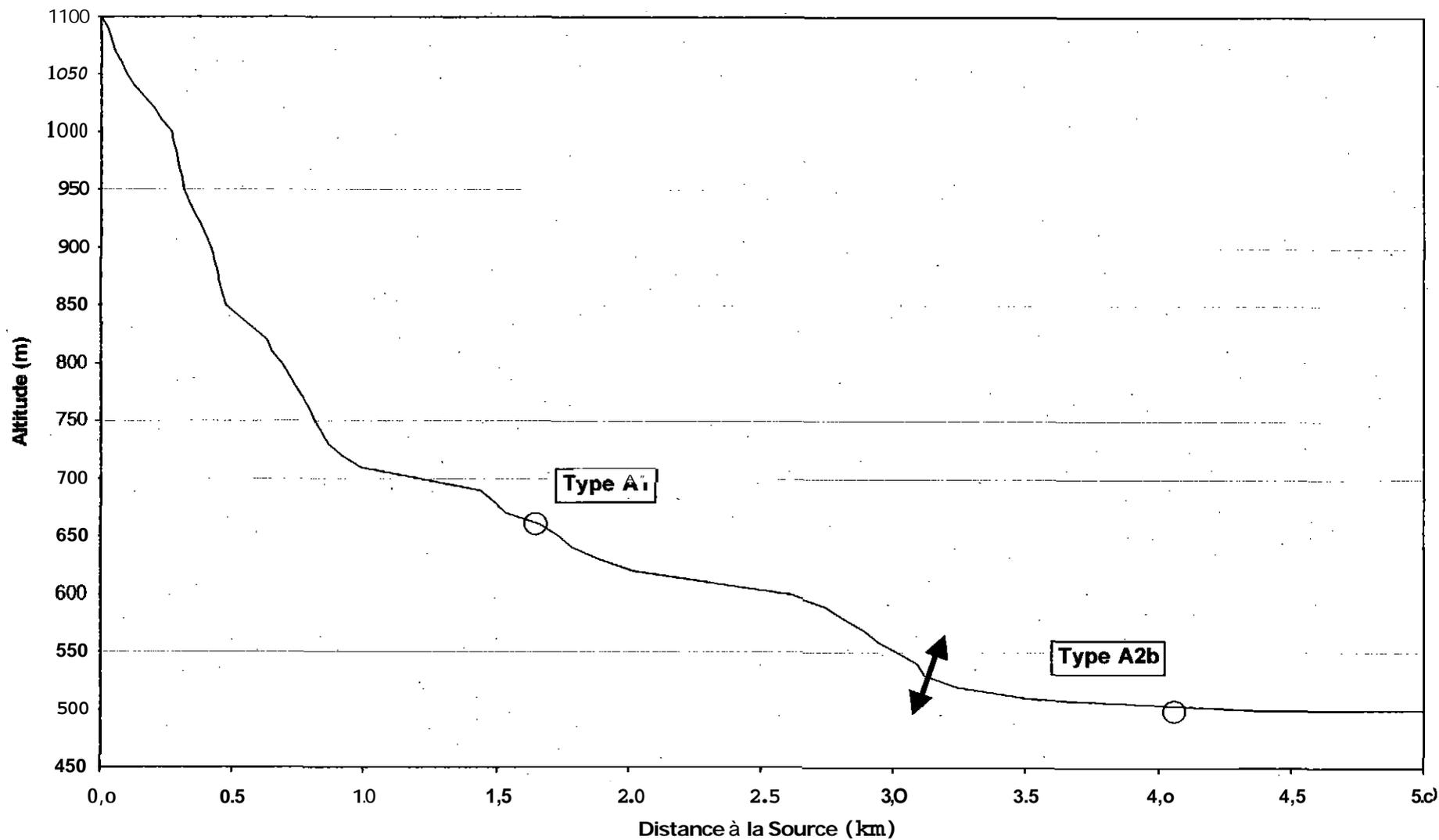
Sectorisation du Soultzbach



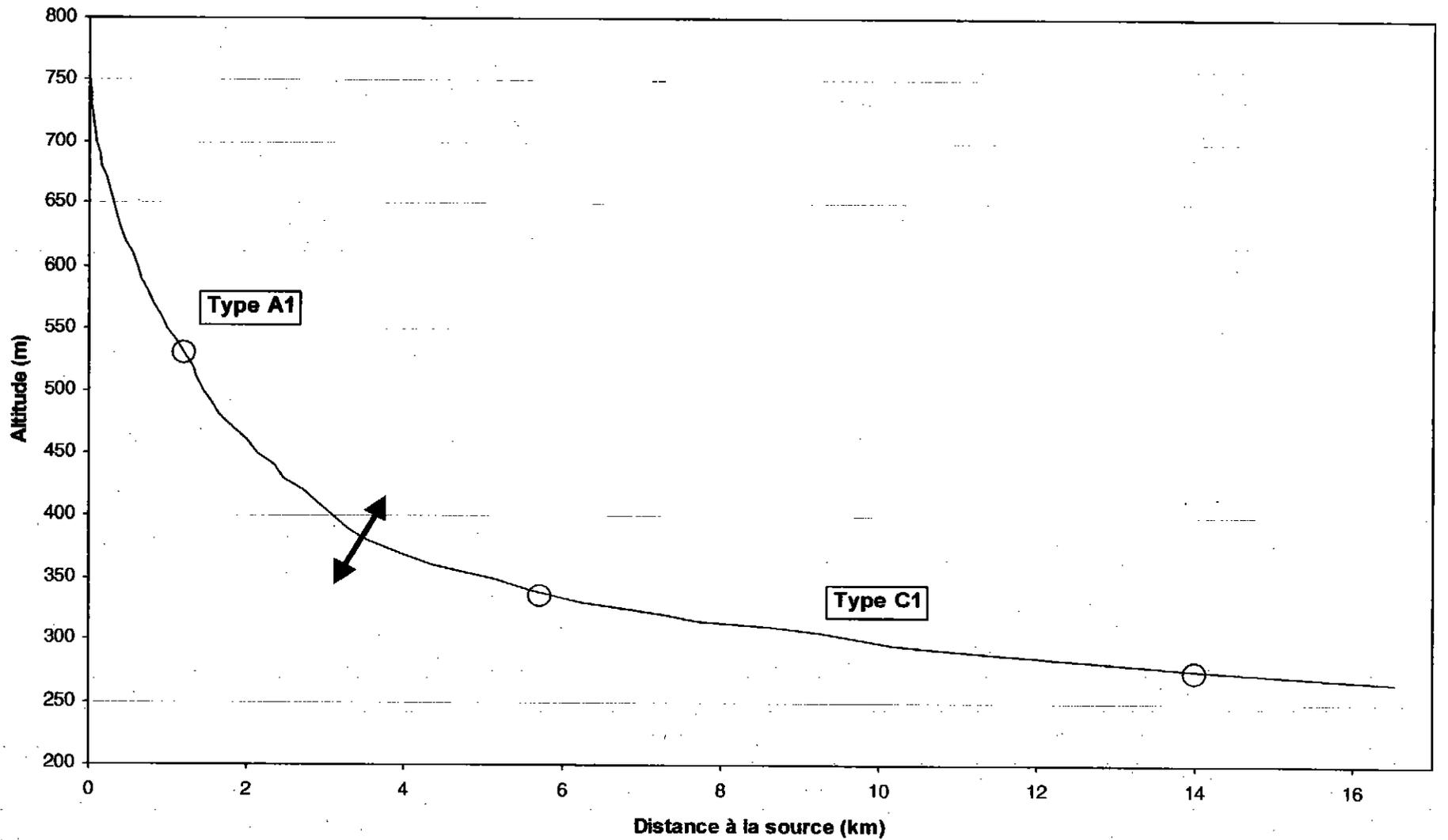
Sectorisation la Doller



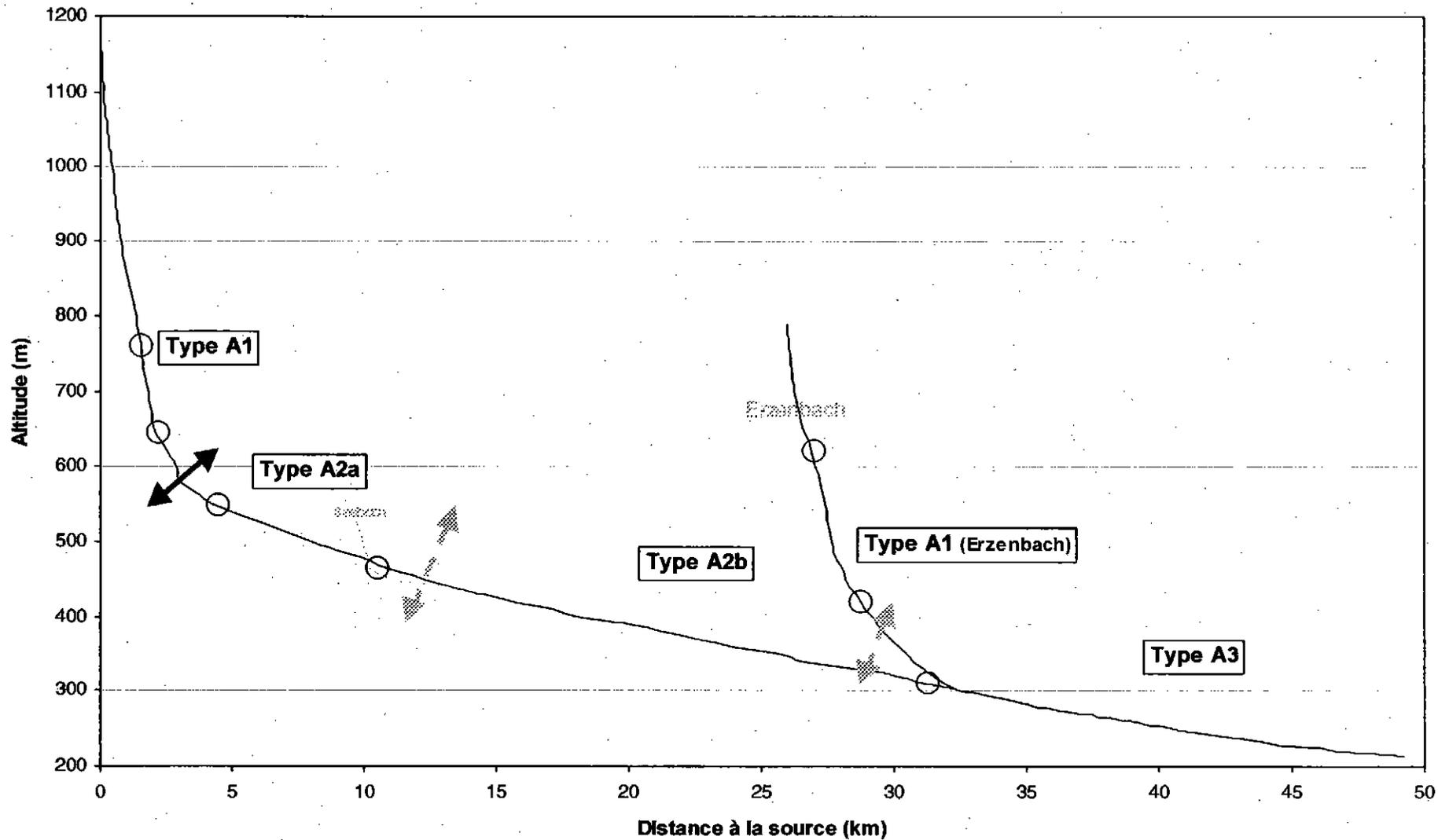
Sectorisation du Ruisseau d'Alfeld



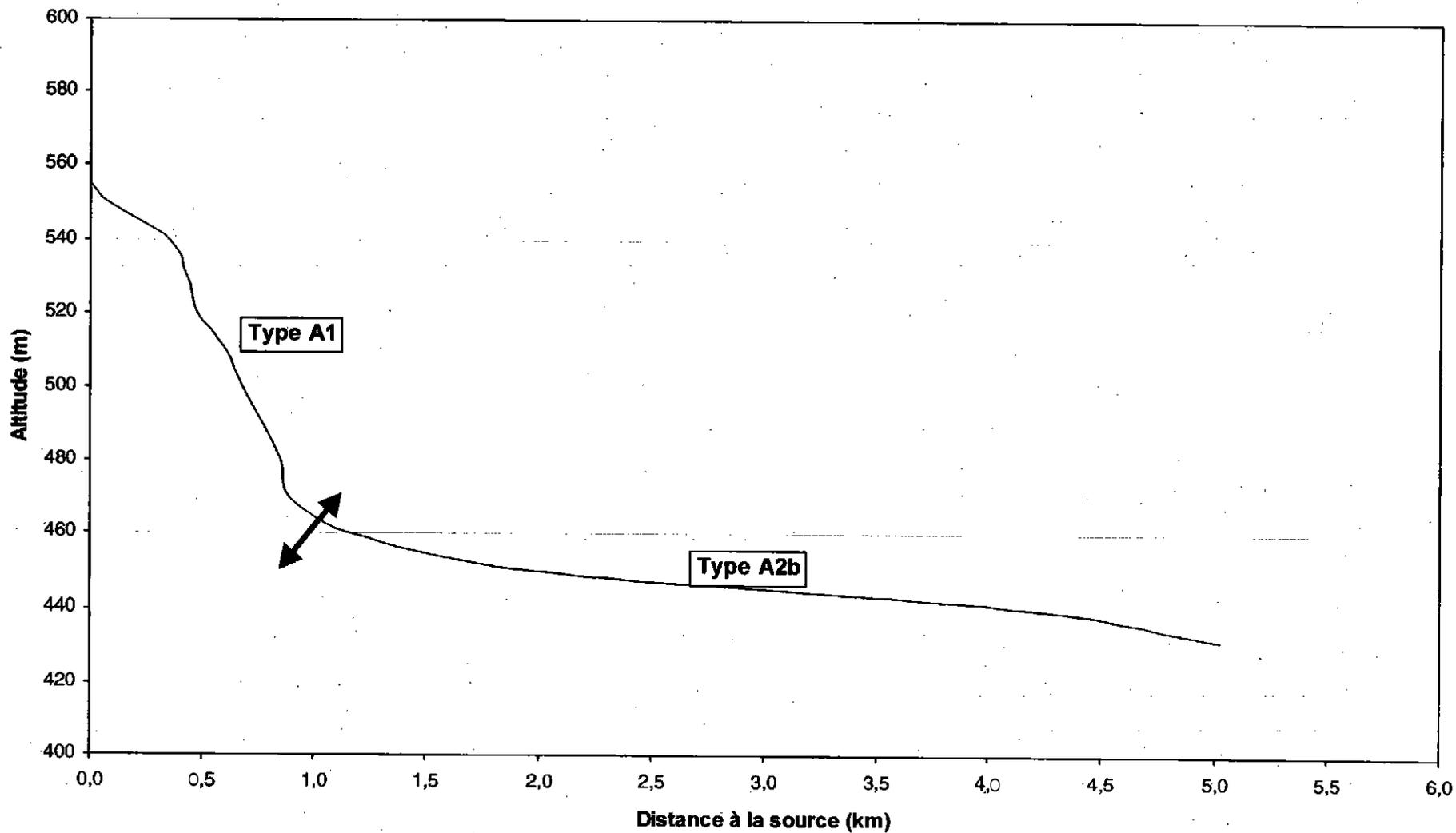
Sectorisation du Baerenbach



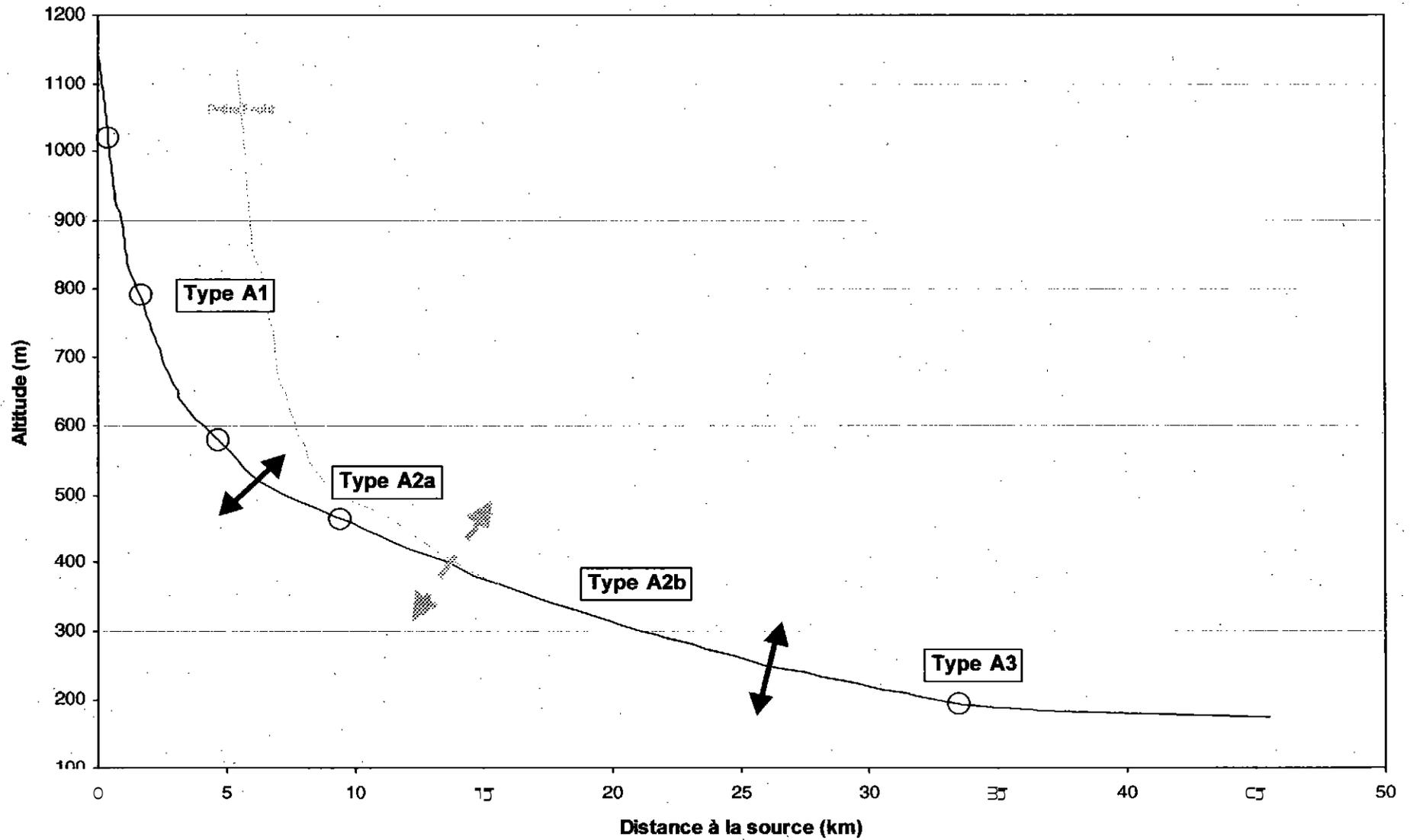
Sectorisation de la Thur



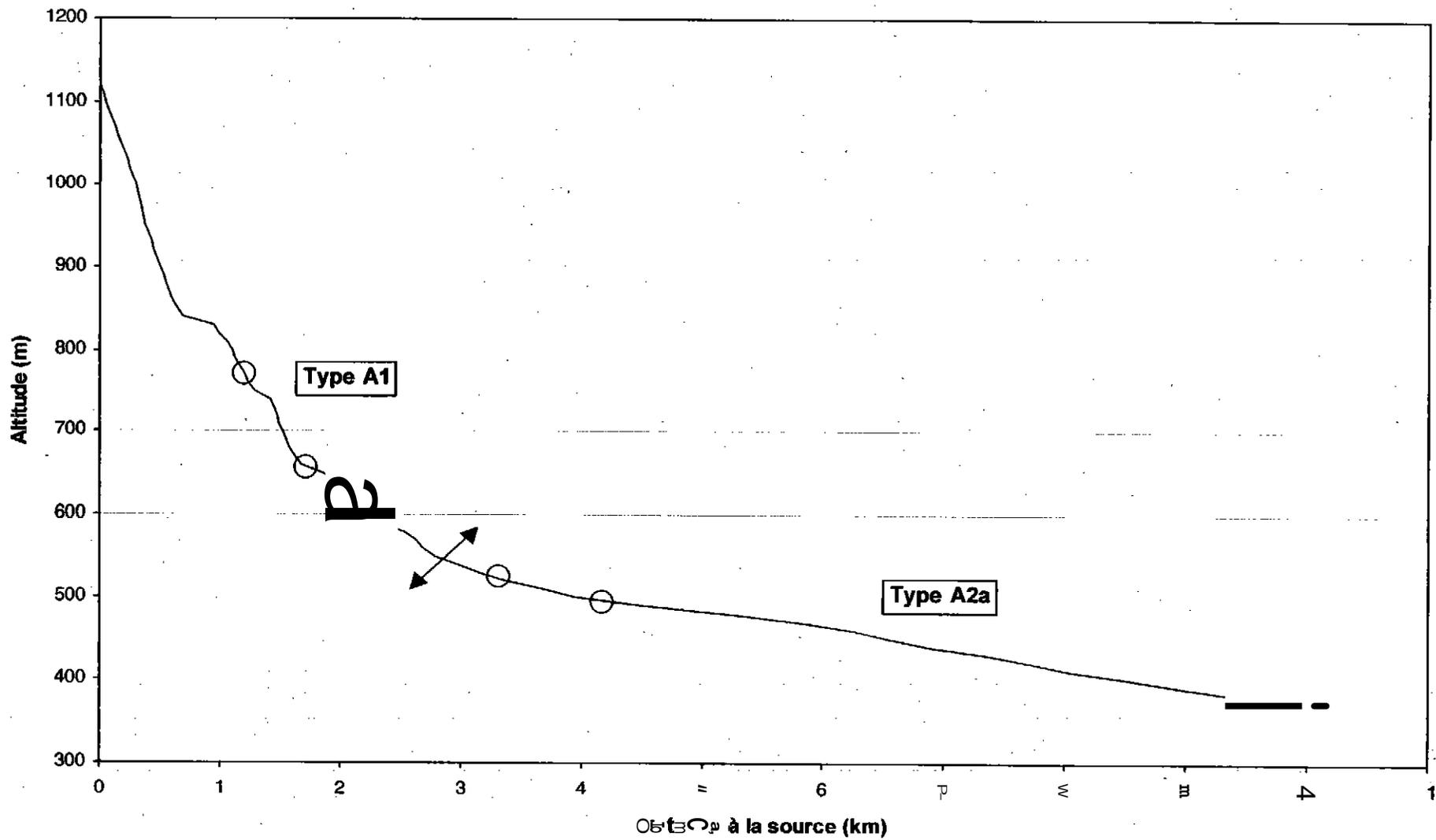
Sectorisation du Seebach



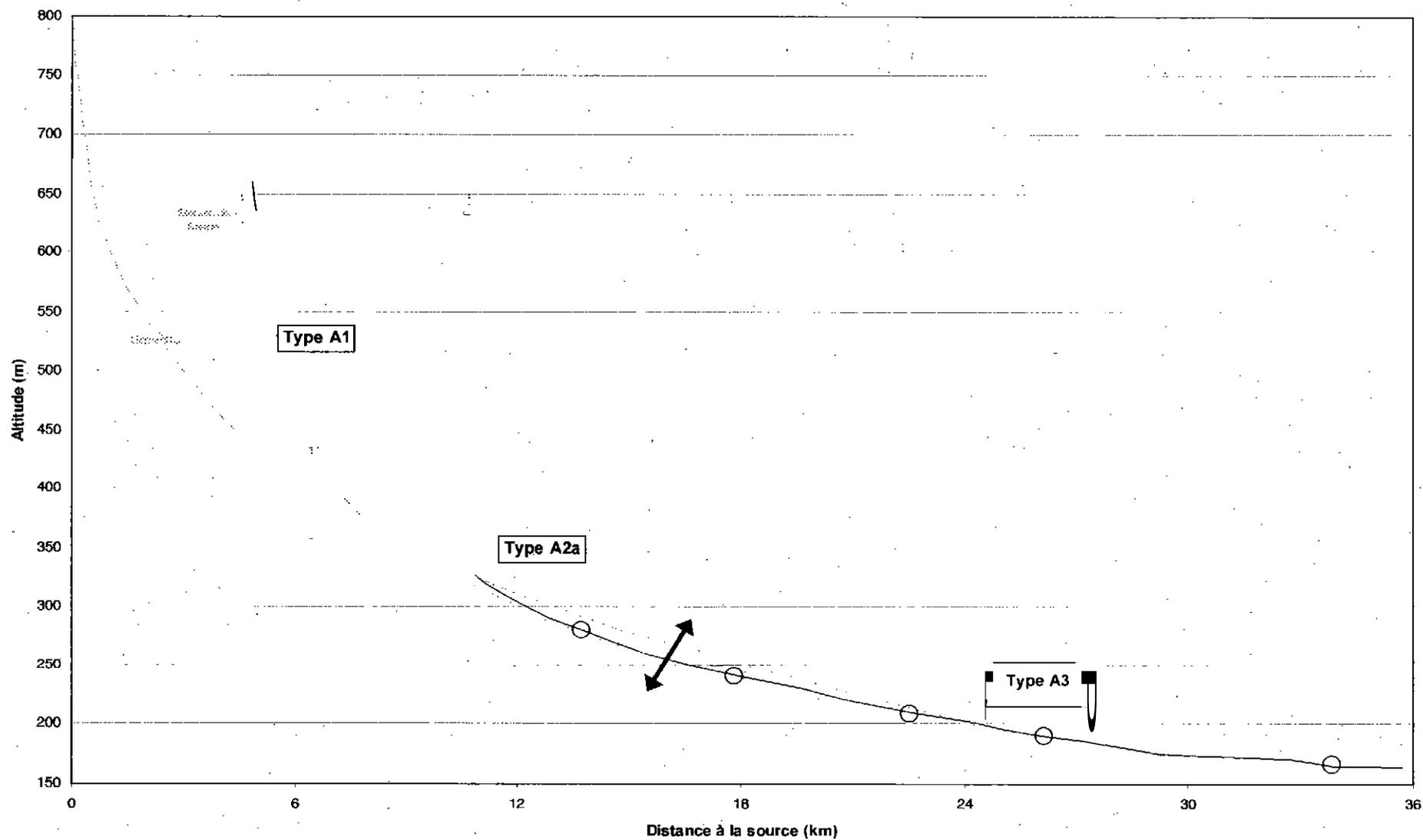
Sectorisation de la Fecht



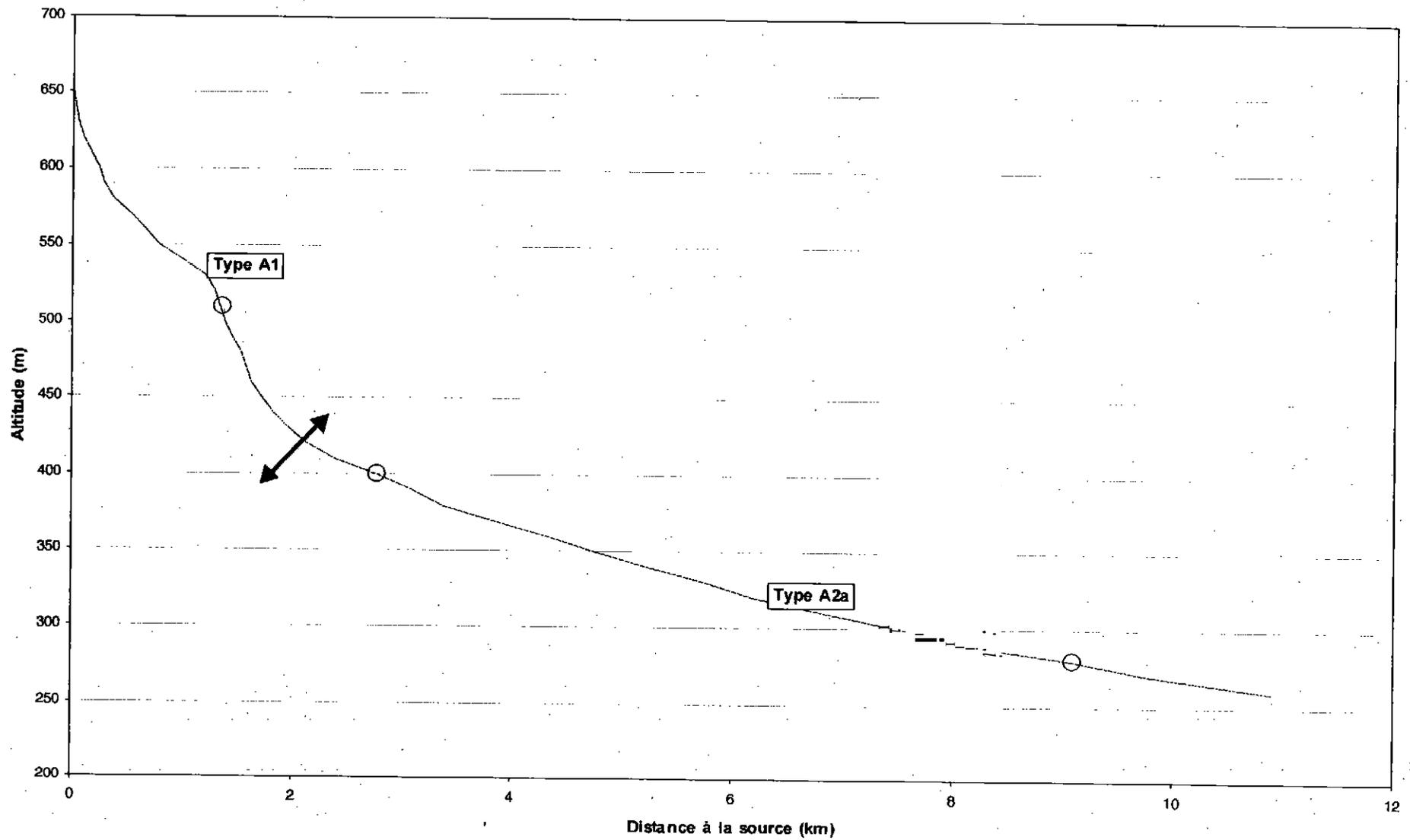
Sectorisation de la Petite Fecht



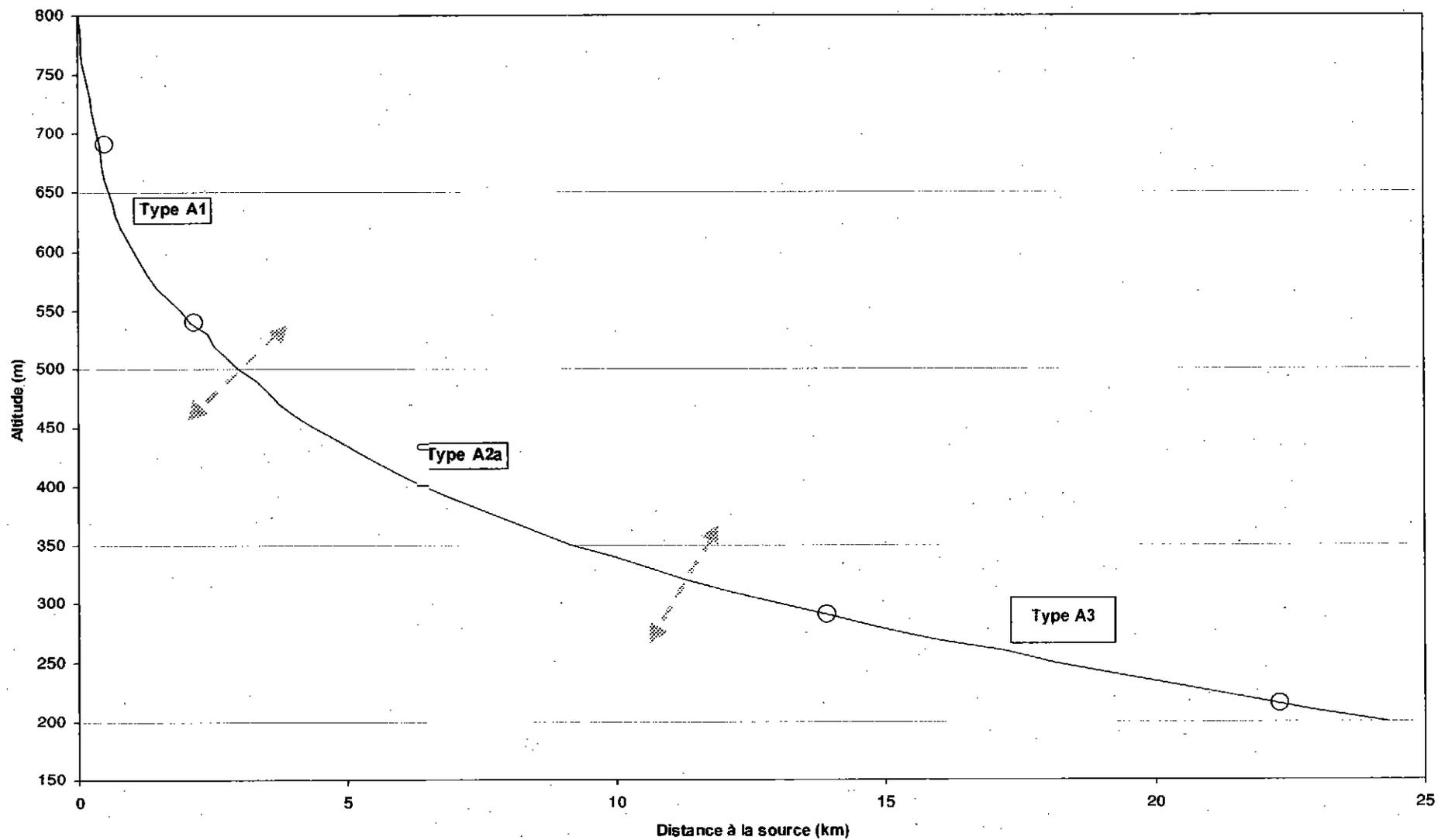
Sectorisation du Giessen



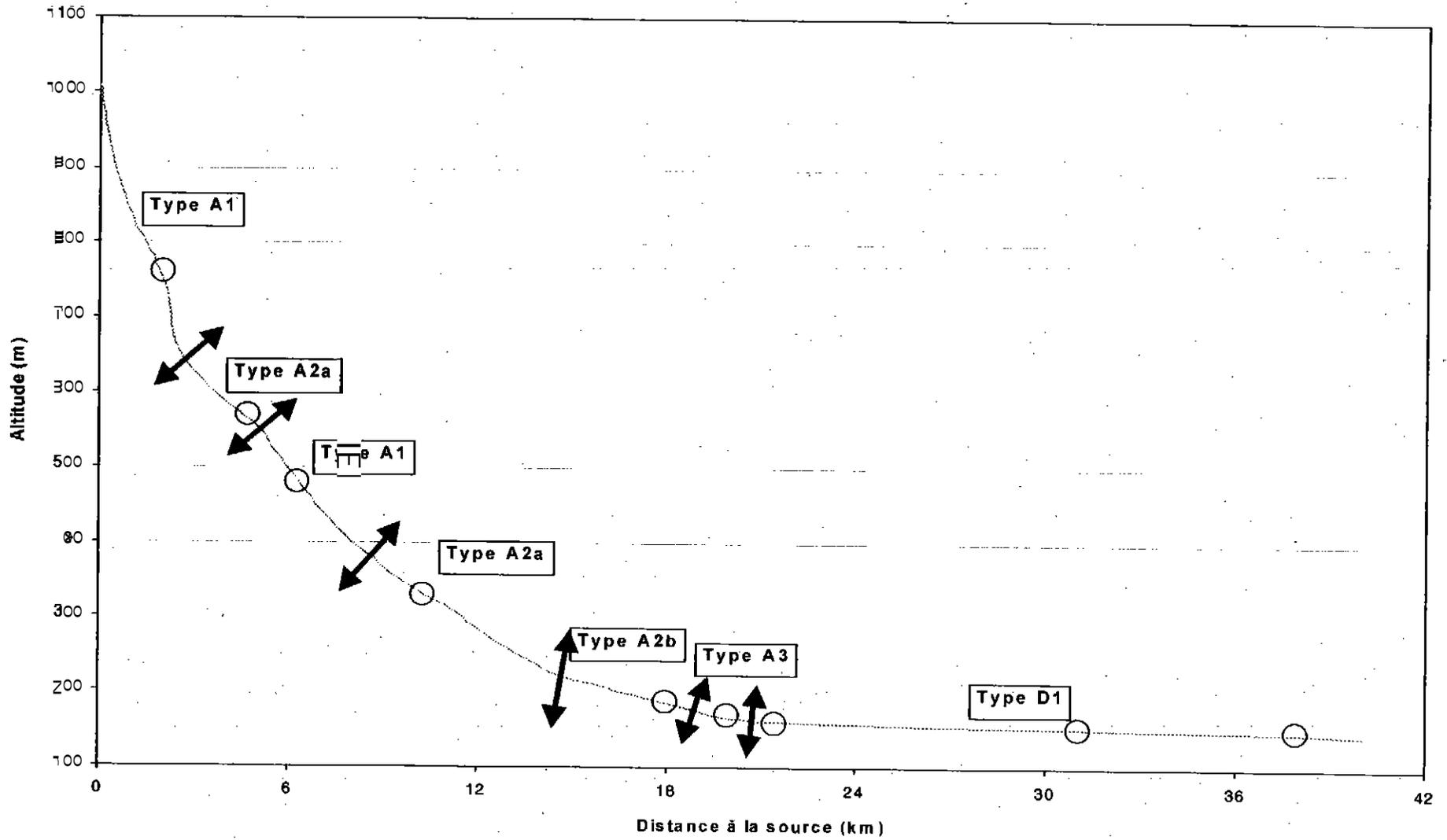
Sectorisation du Giessen de Steige



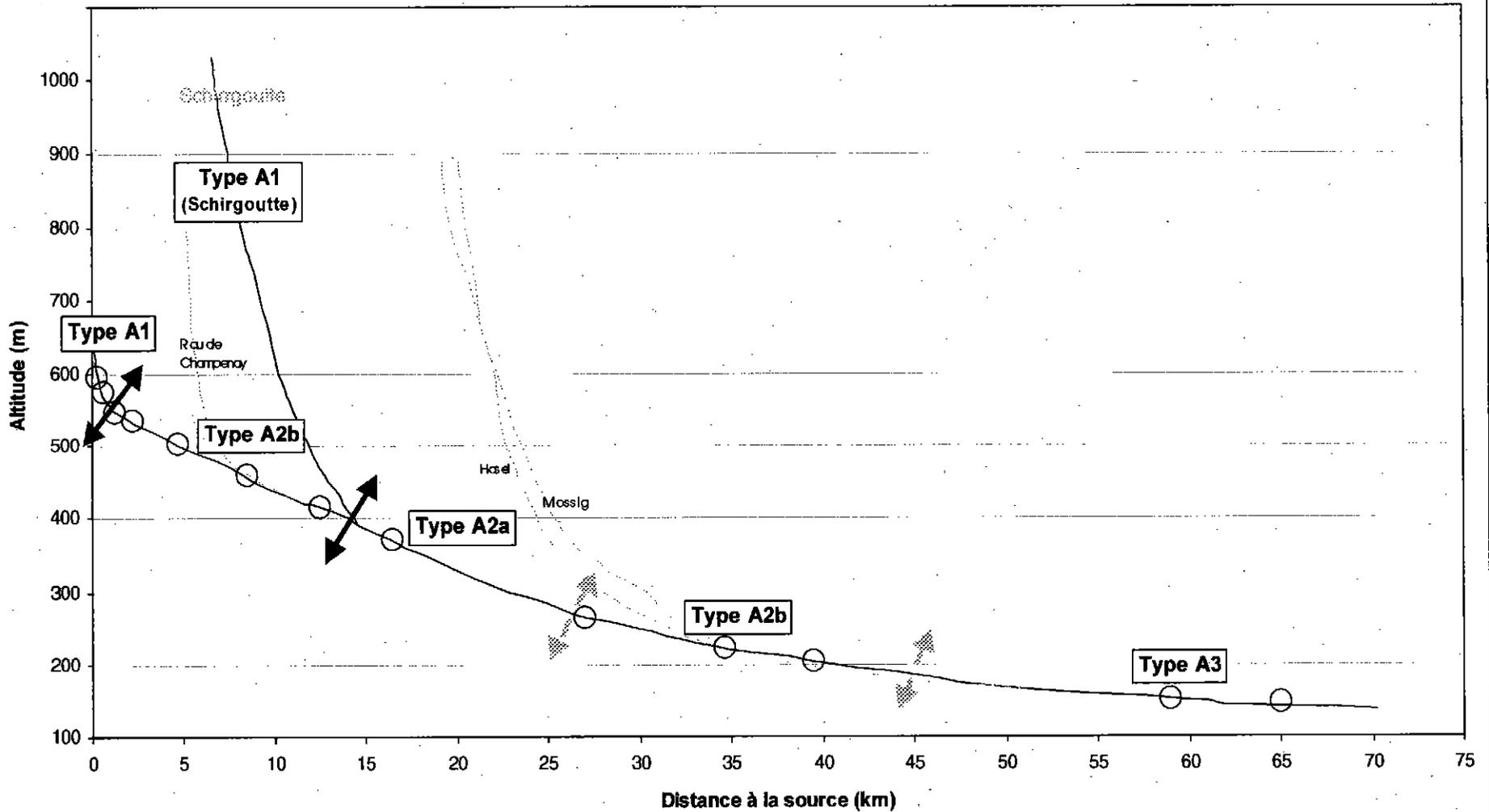
Sectorisation de la Liepvrette



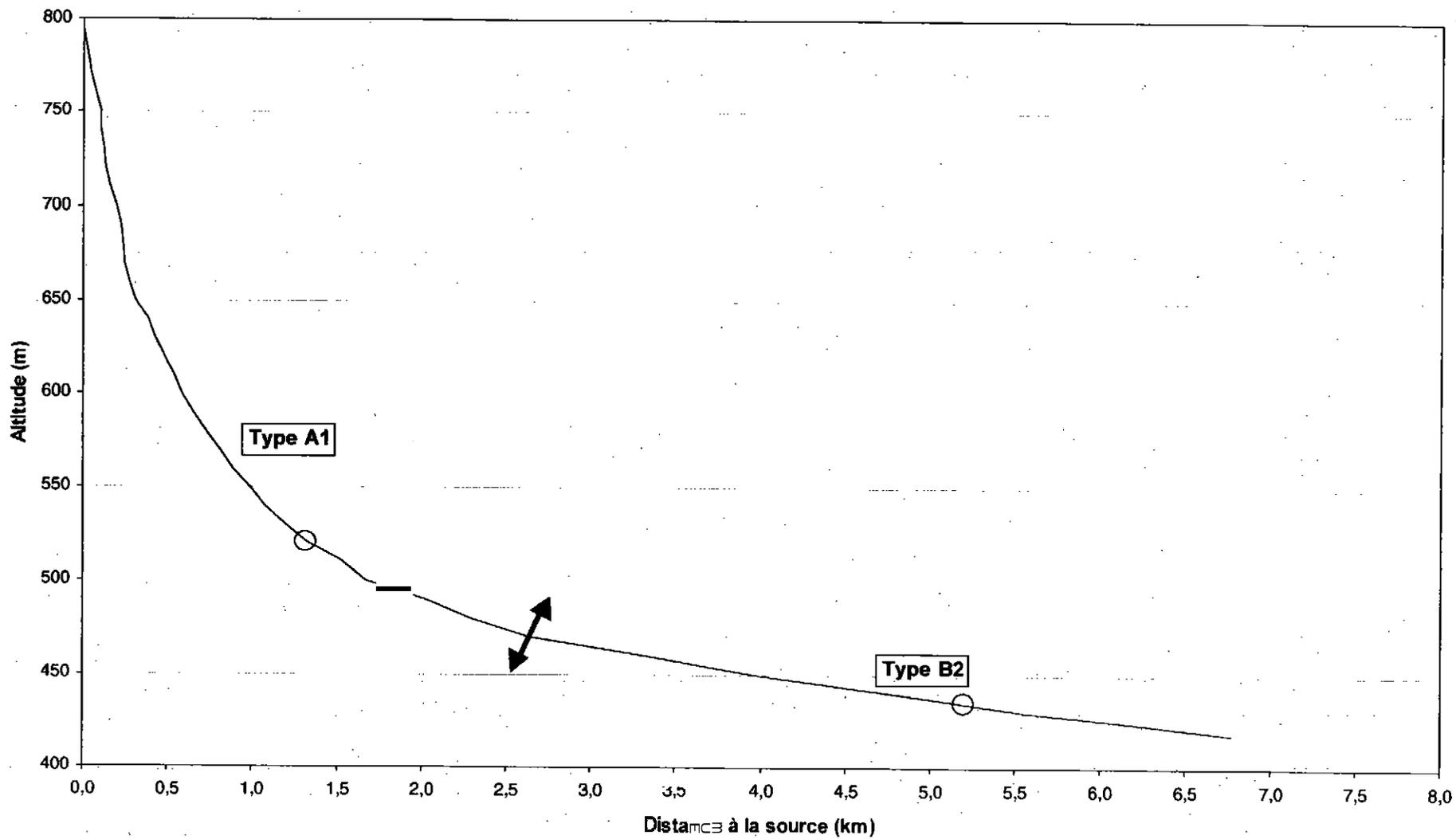
Sectorisation de l'Andlau



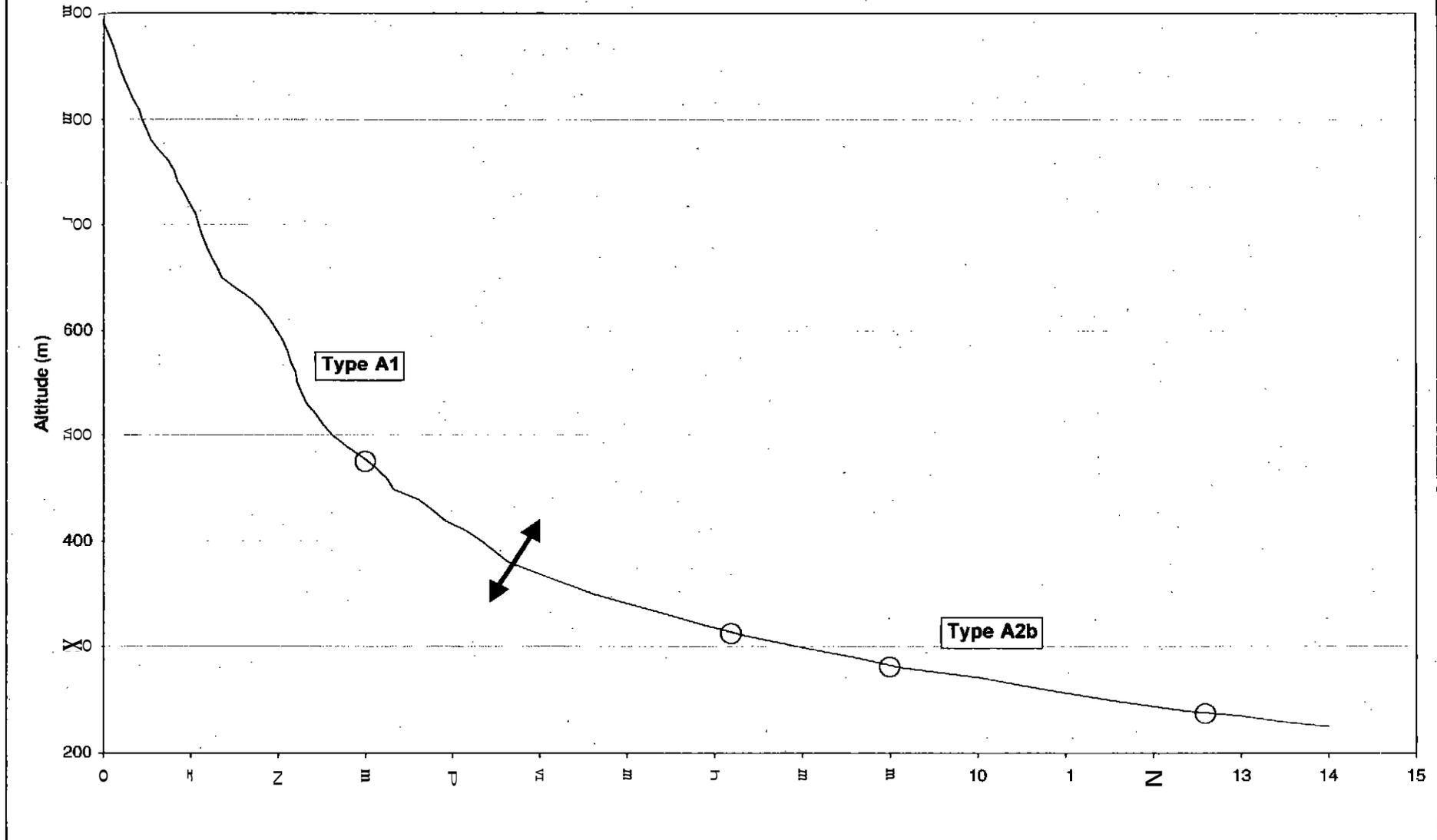
Sectorisation de la Bruche



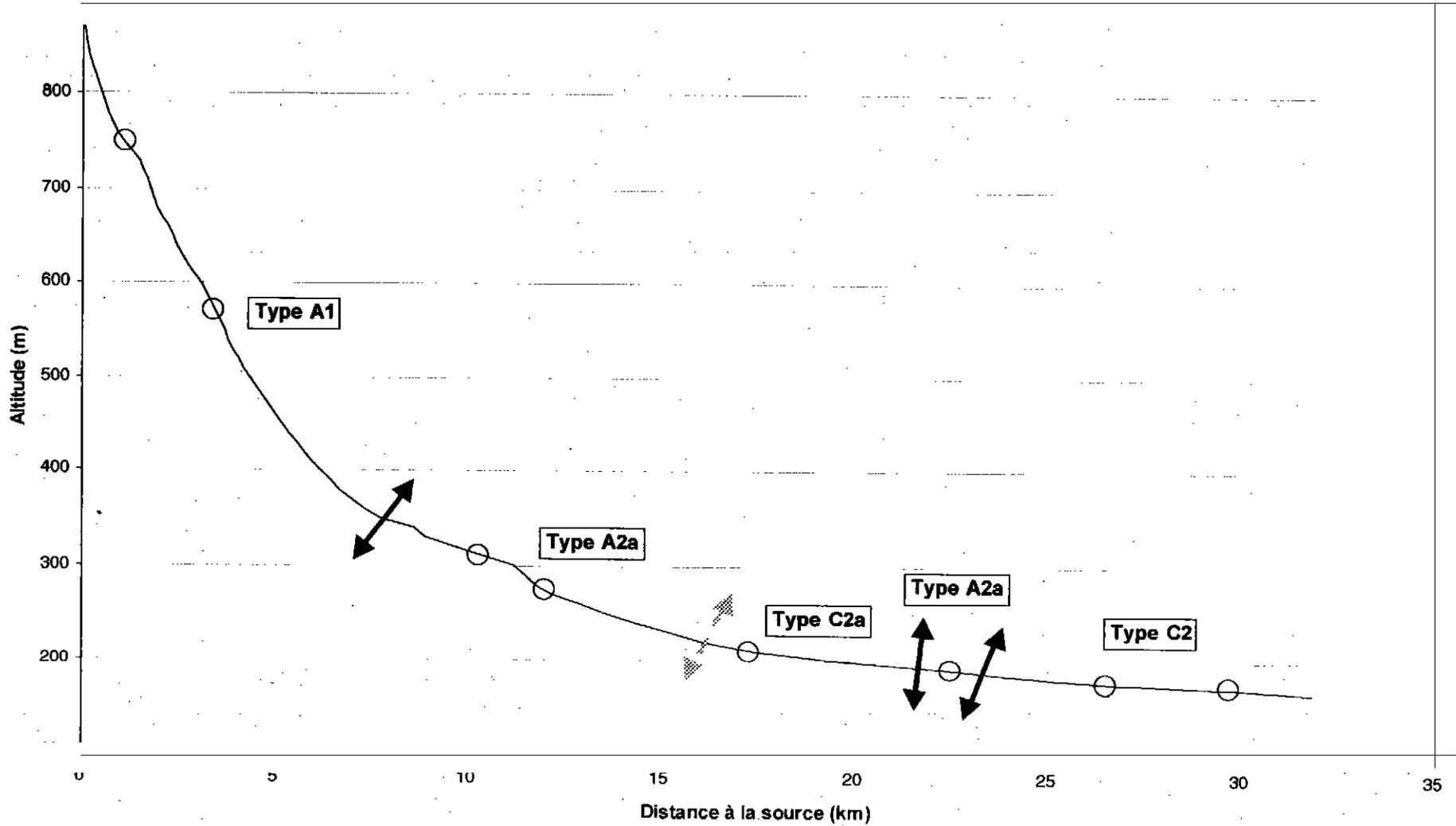
Sectorisation du Ruisseau de Champenay



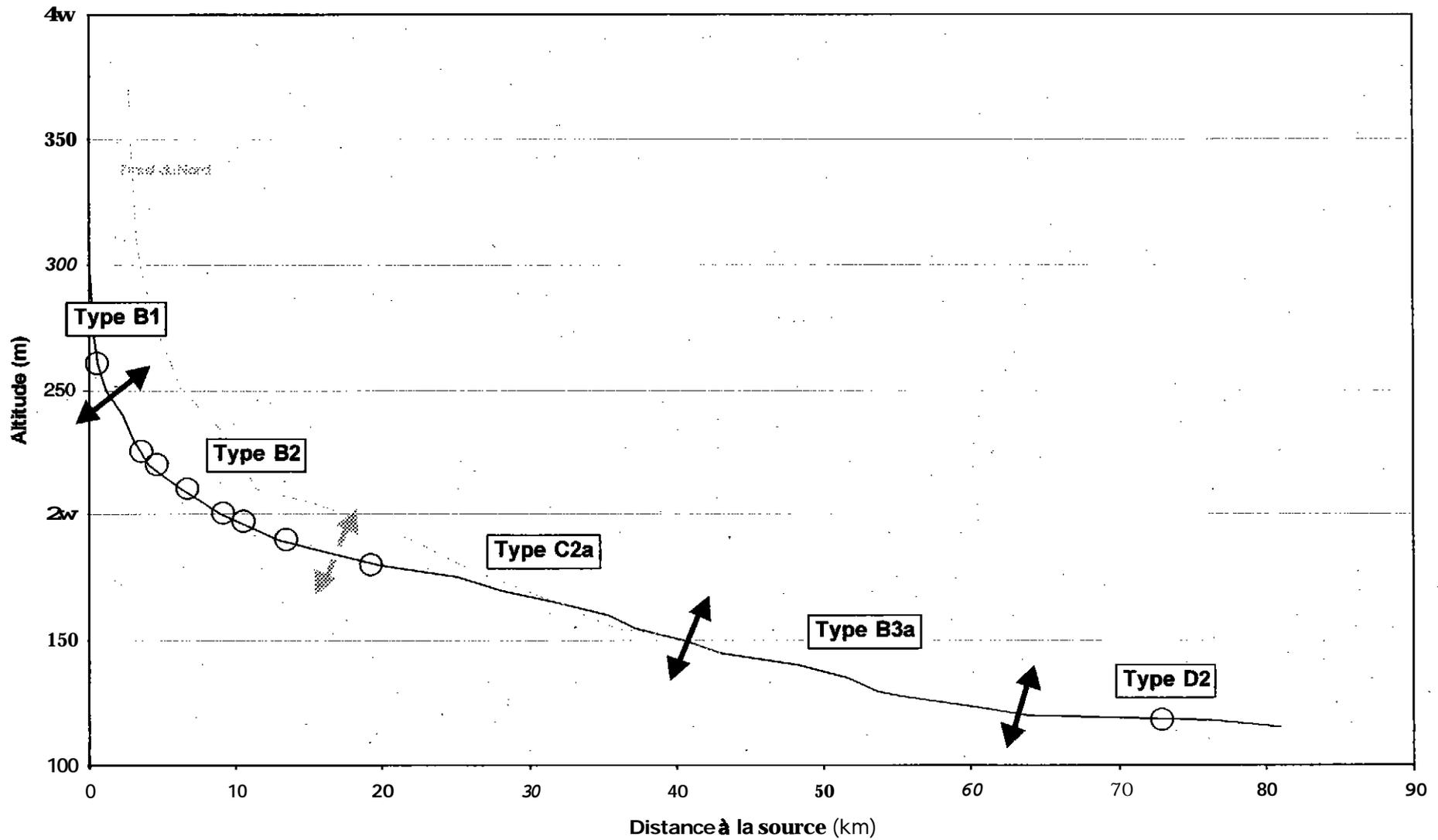
Sectorisation de la Hasel



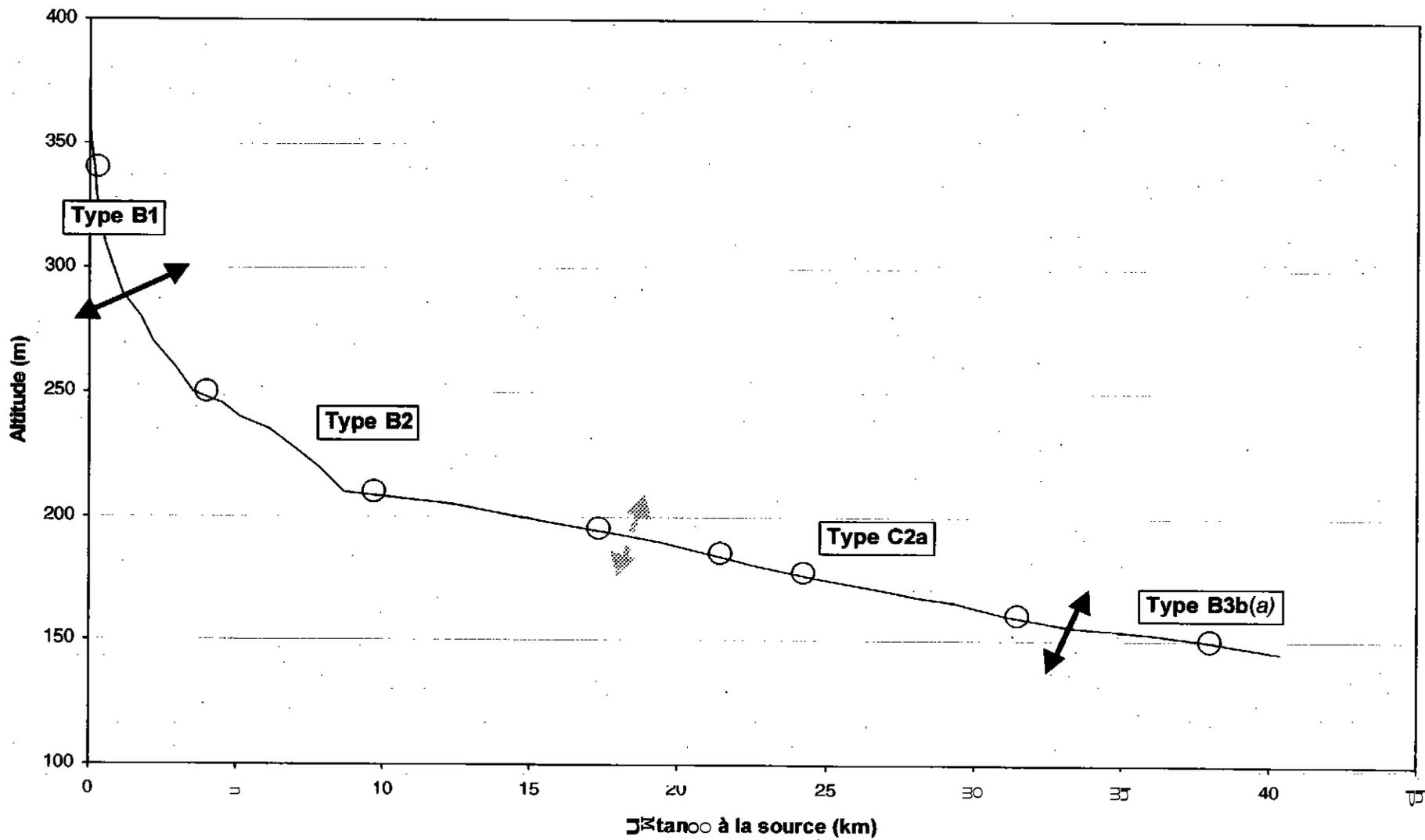
Sectorisation de la Mossig



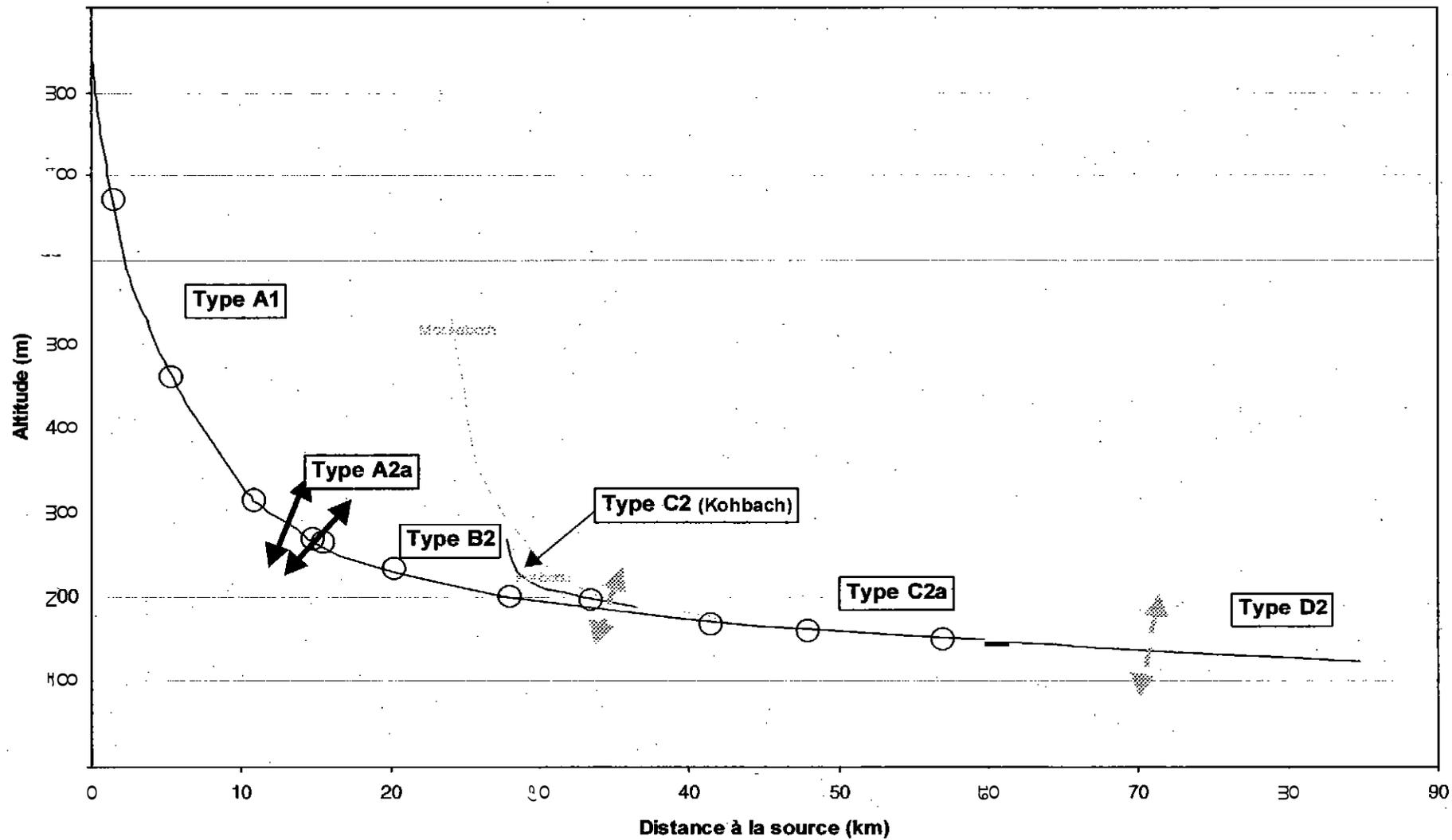
Sectorisation de la Moder



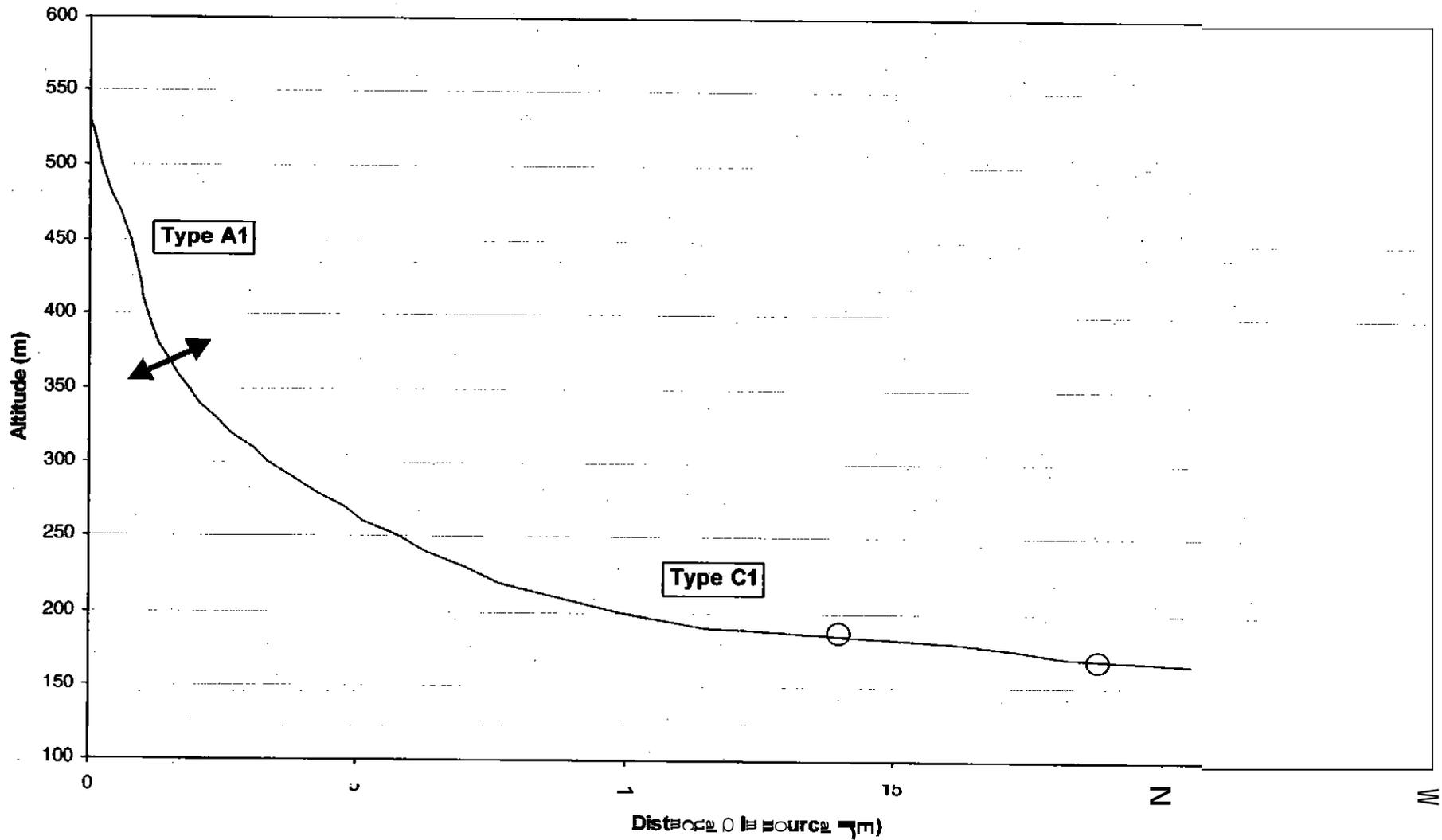
Sectorisation de la Zinsel du Nord



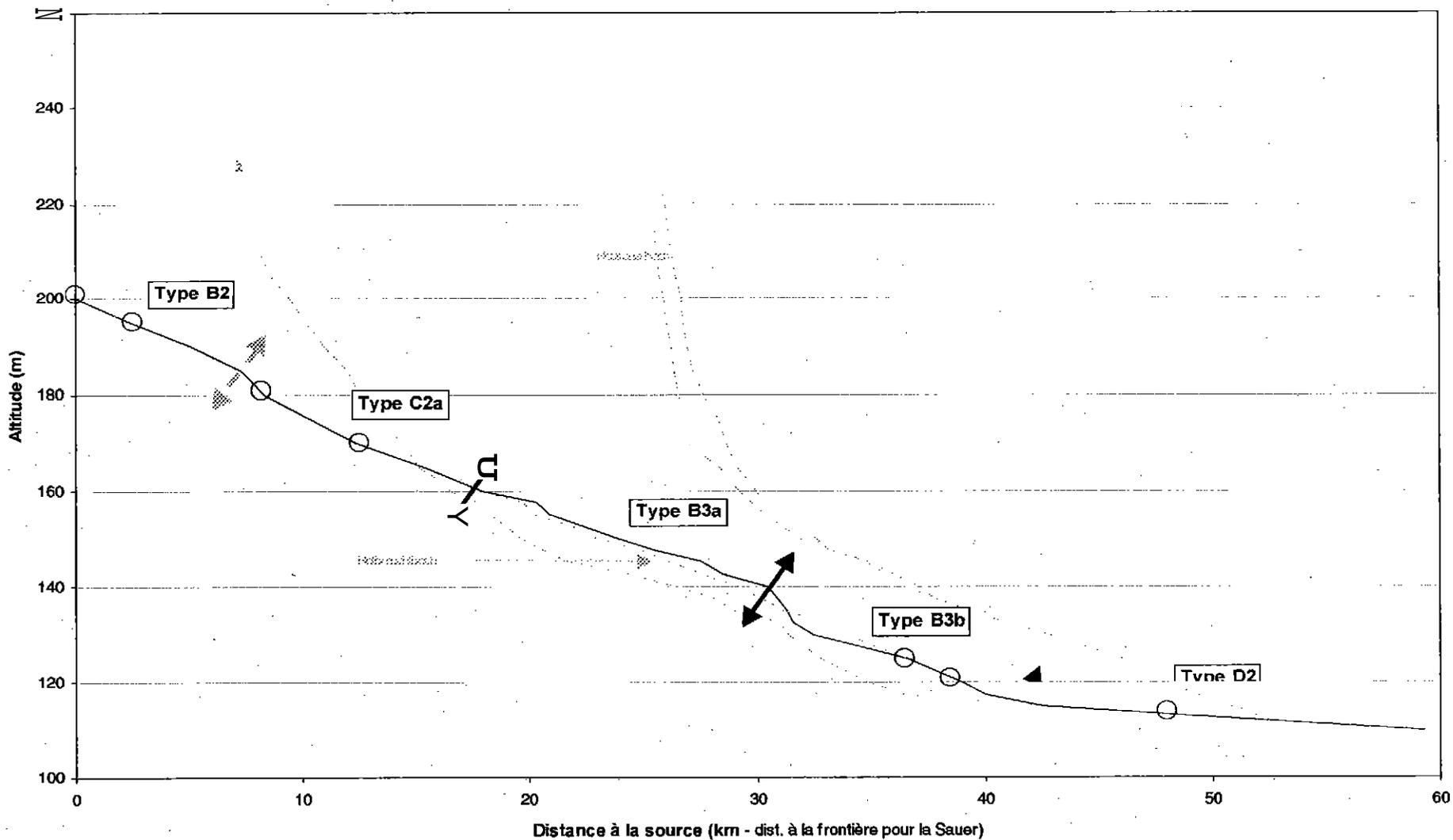
Sectorisation de la Zorn



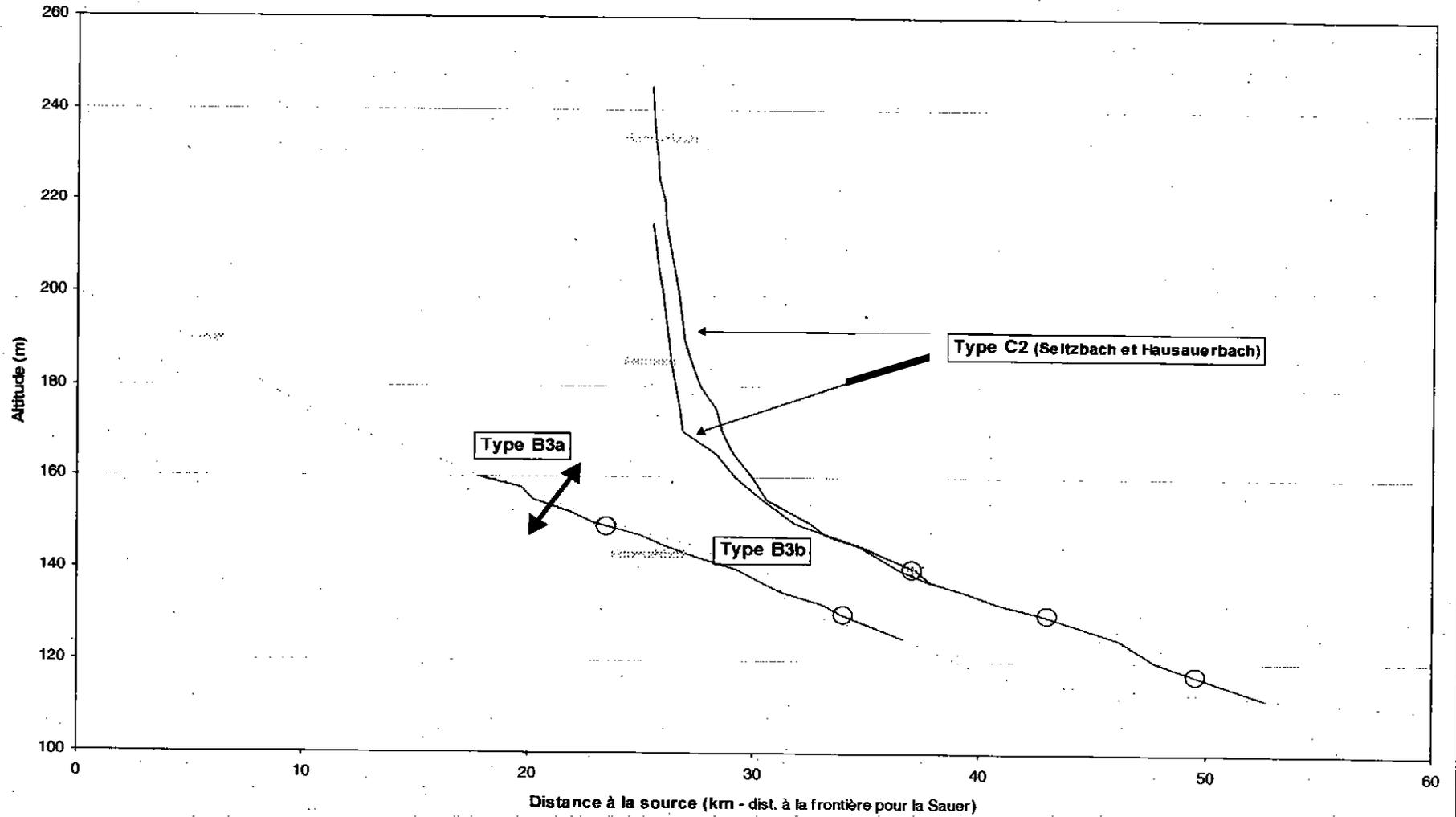
Sectorisation du Mosselbach



Sectorisation de la Sauer



Sectorisation du Halbnuehlbach



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).

