

Communautés de diatomées des bassins
Moselle, Meuse et Sarre

-

Correspondance avec les Hydro-Ecorégions



Direction Régionale de l'Environnement
LORRAINE

Communautés de diatomées des bassins Moselle, Meuse et Sarre - Correspondance avec les Hydro-Ecorégions

Editeur :

Direction Régionale de l'Environnement

19 avenue Foch, BP 60223

57005 Metz cedex 1

Tel : 03-87-39-99-99

Fax : 03-87-39-99-50

Auteurs :

Rimet F.¹, Heudre D.¹, Matte J.L.² & Mazuer P.³

1 : Hydroécologues, diatomistes

2 : Technicien supérieur

3 : Hydroécologue, responsable de la Cellule Eau et Milieux Aquatiques

© Novembre 2006 – DIREN LORRAINE – Tous droits réservés

Ce document est disponible sur <http://www.lorraine.ecologie.gouv.fr/>

Les données utilisées dans cette synthèse ont été produites par les Agences de l'Eau Rhin-Meuse, Seine-Normandie et Rhône-Méditerranée et Corse et les DIREN LORRAINE et CHAMPAGNE-ARDENNES.

Les données brutes sont disponibles sur les sites : www.eau-rhin-meuse.fr
<http://www.champagne-ardenne.ecologie.gouv.fr/> et sur <http://rdb.eaurmc.fr/>

En couverture : Photos de plusieurs espèces de diatomées et cliché d'un cours d'eau lorrain (Photos DIREN LORRAINE).

Communautés de diatomées des bassins Moselle, Meuse, et Sarre, correspondance avec les Hydro-Ecorégions

Table des matières :

Résumé	3
1. Introduction	5
2. Matériel et méthode.....	5
2.1 Aire d'étude.....	5
2.2 Définition de groupes de stations	5
2.3 Communautés diatomiques moyennes des groupes de stations	6
2.4 Taxons indicateurs des groupes de stations.....	6
2.5 Caractérisation physique et chimique des groupes de stations.....	6
2.6 Signification des HER et des diato-écorégions pour les communautés de diatomées	7
3. Communautés de diatomées des bassins Moselle, Meuse et Sarre	8
3.1 Présentation des principales communautés	8
3.2 Présentation des 16 communautés.....	13
3.2.1 Stations présentant des conductivités moyennes à élevées	14
3.2.1.1 Stations de bonne à « très bonne » qualité sur calcaire	14
3.2.1.2 Stations moyennement à fortement polluées.....	16
3.2.1.3 Stations polluées à fortes et très fortes conductivités.....	20
3.2.2 Stations présentant de faibles conductivités.....	23
3.2.2.1 Stations moyennement à fortement polluées.....	23
3.2.2.2 Stations polluées des zones de piémont vosgien.....	25
3.2.2.3 Stations de « très bonne » qualité, pH acide.....	27
3.2.2.4 Stations de « très bonne » qualité, pH neutre à alcalin	29
4. Signification des HER et des Diato-écorégions pour les communautés de diatomées	31
5. Conclusions	34
Bibliographie.....	35
Annexe 1 : Signification des codes (codes Omnidia) et listes des taxons utilisés dans les analyses statistiques de ce rapport.....	37
Annexe 2 : Localisation des HER et des Diato-écorégions.....	40
Annexe 3 : Liste des stations avec leurs HER et leurs groupes Twinspan correspondants par année.....	43
Annexe 4 : Glossaire	48
Annexe 5 : Carte de localisation des stations	49

Résumé

La Directive Cadre sur l'Eau demande d'évaluer la qualité des cours d'eau en utilisant des bioindicateurs (diatomées, macrophytes, macroinvertébrés, poissons). Cette évaluation doit se faire en mesurant l'écart à une référence établie par type de cours d'eau.

La typologie des cours d'eau officiellement utilisée en France (circulaire du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable DCE 2005/11 du 29 avril 2005) est définie selon des Hydro-EcoRégions (HER) et le rang de Strahler (Wasson et al. 2001).

Cette typologie est le cadre qui permet de définir les références pour chaque type de cours d'eau. Le Cemagref de Bordeaux a également proposé des diato-écorégions, écorégions inspirées des HER et adaptées aux diatomées (Tison et al. 2005a, 2005b).

Le présent travail a pour premier objectif d'explorer les différentes communautés de diatomées des bassins Moselle, Meuse et Sarre (en s'aidant de quelques données alsaciennes). Le deuxième objectif est de tester la signification des HER et des diato-écorégions pour les communautés de diatomées de notre aire d'étude.

Une analyse de groupement (Twinspan) a été effectuée sur 741 échantillons de diatomées (récoltés sur le Réseau National de Bassin entre 2000 et 2004 et sur le Réseau de référence du bassin Rhin-Meuse en 2005). Cette analyse montre que la zone d'étude peut-être divisée en 4 grands types de communautés :

- les communautés neutrophiles à légèrement acidophiles des petits cours d'eau sur roches cristallines (Vosges et Ardennes),
- les communautés neutrophiles à basophiles des petits cours d'eau calcaires (Côtes calcaires et Alsace),
- les communautés neutrophiles à basophiles des cours d'eau moyens à grands sur calcaires (Côtes calcaires),
- les communautés basophiles des cours d'eau fortement minéralisés, avec des concentrations élevées en chlorures.

Cette répartition correspond relativement bien aux HER (HER de niveau 2 et exogènes) : HER Vosges et Ardennes correspondant à la 1^{ère} communauté, HER Côtes calcaires correspondant aux 2^{ème} et 3^{ème} communautés.

Cependant, les communautés des cours d'eau fortement minéralisés constituent une communauté à part qui n'a pas d'équivalent en HER.

Les diato-écorégions correspondent bien à la répartition des grandes communautés de diatomées et rassemblent celles des cours d'eau calcaire d'une part, et celles des cours d'eau Vosgiens et Ardennais d'autre part.

Des analyses (MRPP) testant la signification des classifications pour les communautés de diatomées ont été réalisées. Ces analyses montrent que les HER (de niveau 2 et exogènes) et les diato-écorégions ont une bonne signification et précision pour les diatomées.

Certaines modifications pourraient cependant être apportées aux HER. En particulier, des simplifications semblent envisageables : nous constatons les mêmes types de communautés sur les petits cours d'eau des Côtes Calcaires et d'Alsace, les mêmes types de communautés sur les petits cours d'eau des Vosges et des Ardennes.

Inversement, la création d'un nouveau type est à envisager pour les cours d'eau naturellement très fortement minéralisés (1500 à $4000 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) car caractérisés par une microflore particulière.

Les diato-écorégions présentent un bon cadre pour les diatomées mais pourraient être affinées car elles correspondent à de grandes régions.



1. Introduction

La Directive Cadre sur l'Eau (DCE) demande d'évaluer la qualité des cours d'eau en utilisant des bioindicateurs (diatomées, macrophytes, macroinvertébrés, poissons) au moyen d'un Rapport de Qualité Ecologique : il s'agit de mesurer la différence entre les conditions actuelles du cours d'eau à étudier et son état de référence. L'état de référence correspond à ce que devrait être le cours d'eau s'il était non impacté par les activités anthropiques.

Les conditions de référence doivent être établies par types de cours d'eau pour chacun des bioindicateurs utilisés pour le diagnostic de qualité. En France, la typologie des cours d'eau est définie selon la circulaire DCE 2005/11 du 29 avril 2005 selon deux facteurs : les Hydro-EcoRégions (HER) et la taille du cours d'eau exprimée par le rang de Strahler (Wasson et al. 2001). Le Cemagref de Bordeaux a également proposé des diato-écorégions, écorégions inspirées des HER et adaptées aux diatomées (Tison et al. 2005a, 2005b).

Le présent travail a pour objectif de tester les HER et les diato-écorégions pour les communautés de diatomées des bassins Moselle, Meuse et Sarre.

La méthode utilisée est une analyse de groupement Twinspan définissant des groupes de sites d'échantillonnage ayant des communautés de diatomées homogènes. Les communautés correspondant aux zones les moins perturbées par les activités anthropiques peuvent aussi être identifier de cette manière.

Parallèlement, des analyses (MRPP) testant la signification de différentes classifications (rang de Strahler, HER, diato-écorégions) pour les communautés de diatomées ont été réalisées.

2. Matériel et méthode

2.1 Aire d'étude

L'aire d'étude des communautés de diatomées choisie correspond aux bassins hydrographiques français de la Moselle, la Meuse et la Sarre. Cette aire d'étude dépasse les limites de la région Lorraine. Les échantillonnages réalisés sur le Réseau national de bassin de 2000 à 2004 ont été rassemblés pour cette étude. Pour augmenter la représentativité des stations faiblement impactés, les échantillonnages réalisés sur le Réseau de référence dans le bassin Rhin-Meuse ont été ajoutés à la base de données (stations de référence de la région Lorraine et Alsace). Au total 741 échantillons de diatomées ont été utilisés.

2.2 Définition de groupes de stations

Une méthode de groupement a été utilisée : la méthode Twinspan (Two Ways Indicator Species Analysis, Hill, 1979). Cette méthode est basée sur la division de l'espace d'ordination d'une analyse factorielle des correspondances : dans un même groupe seront rassemblés des stations ayant une communauté de diatomées semblable.

Au total, 567 taxons de diatomées ont été identifiés sur les 741 échantillons (récoltés entre 2000 et 2004 sur le RNB et récoltés en 2005 sur le Réseau de référence du bassin Rhin-Meuse). Une sélection des 220 espèces les plus communes a été effectuée afin de réaliser une analyse Twinspan (limitation due aux logiciels utilisés).

16 groupes ont été retenus avec l'analyse Twinspan. Ce niveau de groupement a été choisi car c'est celui qui offre le meilleur compromis en terme de nombre de groupes à définir et en terme de précision des groupements.

Ces 16 groupes de stations sont caractérisés au moyen de paramètres physiques et chimiques dans le § 3). Les classes écologiques de Van Dam et al. (1994), ainsi que d'autres données bibliographiques sur les diatomées ont été utilisées pour caractériser les communautés de diatomées.

2.3 Communautés diatomiques moyennes des groupes de stations

Afin d'appréhender les communautés de chacun des groupes Twinspan, des communautés moyennes ont été calculées : la moyenne de l'abondance de chaque taxon est calculée pour chaque groupe Twinspan. Les taxons présentant les abondances moyennes les plus élevées sont indiqués pour chaque groupe Twinspan dans un tableau (§ 3.2 et 3.3).

2.4 Taxons indicateurs des groupes de stations

Un objectif important en écologie est de détecter les espèces indicatrices caractéristiques de conditions environnementales particulières. Dans notre cas, les conditions environnementales sont conceptualisées par des groupes de stations ayant des communautés de diatomées homogènes identifiées avec la méthode Twinspan. L'analyse de Dufrene & Legendre (1997) - ou méthodes de l'analyse des espèces indicatrices- permet de détecter les taxons indicateurs de ces groupes Twinspan. Cette méthode combine l'abondance du taxon dans un groupe et sa fidélité dans le groupe. La signification des espèces indicatrices est testée (test de randomisation de Monte-Carlo). Les taxons significativement indicateurs ($p < 5\%$) sont indiqués dans le tableau d'assemblage moyen de chaque groupe Twinspan.

2.5 Caractérisation physique et chimique des groupes de stations

Pour chaque relevé diatomique, les paramètres physiques et chimiques ont été rassemblés. Les échantillonnages de diatomées sont effectués tous les ans entre les mois de juillet et septembre. Par conséquent, une moyenne pour chaque mesure physique ou chimique effectuée entre les mois de juin et septembre a été calculé pour chaque relevé diatomique. Des boîtes à moustaches (la boîte représente les quartiles à 25 et 75 %, la ligne horizontale dans la boîte la médiane et les moustaches les valeurs maximales) pour les 16 groupes Twinspan ont été calculés pour les principaux paramètres physiques et chimiques, de même que des calculs de valeurs médianes ont été réalisés.

2.6 Signification des HER et des diato-écorégions pour les communautés de diatomées

Afin de tester la signification des HER et de comparer cette signification à d'autres types de classifications, des MRPP (Multi-Response Permutation Procedures) ont été calculées à l'aide du logiciel PcOrd. Une MRPP est une procédure non paramétrique qui permet de tester l'hypothèse de la non différence entre deux ou plusieurs groupes, ici composés de communautés de diatomées. L'analyse MRPP permet le calcul de la statistique A. La statistique A est un descripteur de l'homogénéité inter-groupes, comparée à ce qui est attendu aléatoirement. Cette statistique A a été utilisée pour comparer la signification des classifications :

- si la statistique A est élevée et proche de 1, les groupes sont très différents, et dans notre cas, les groupes seront composés de communautés de diatomées très différentes.
- si la statistique A est proche de 0, les groupes sont peu différents, et dans notre cas, les groupes seront composés de communautés de diatomées proches.

La figure 1 donne une explication schématique de l'analyse MRPP.

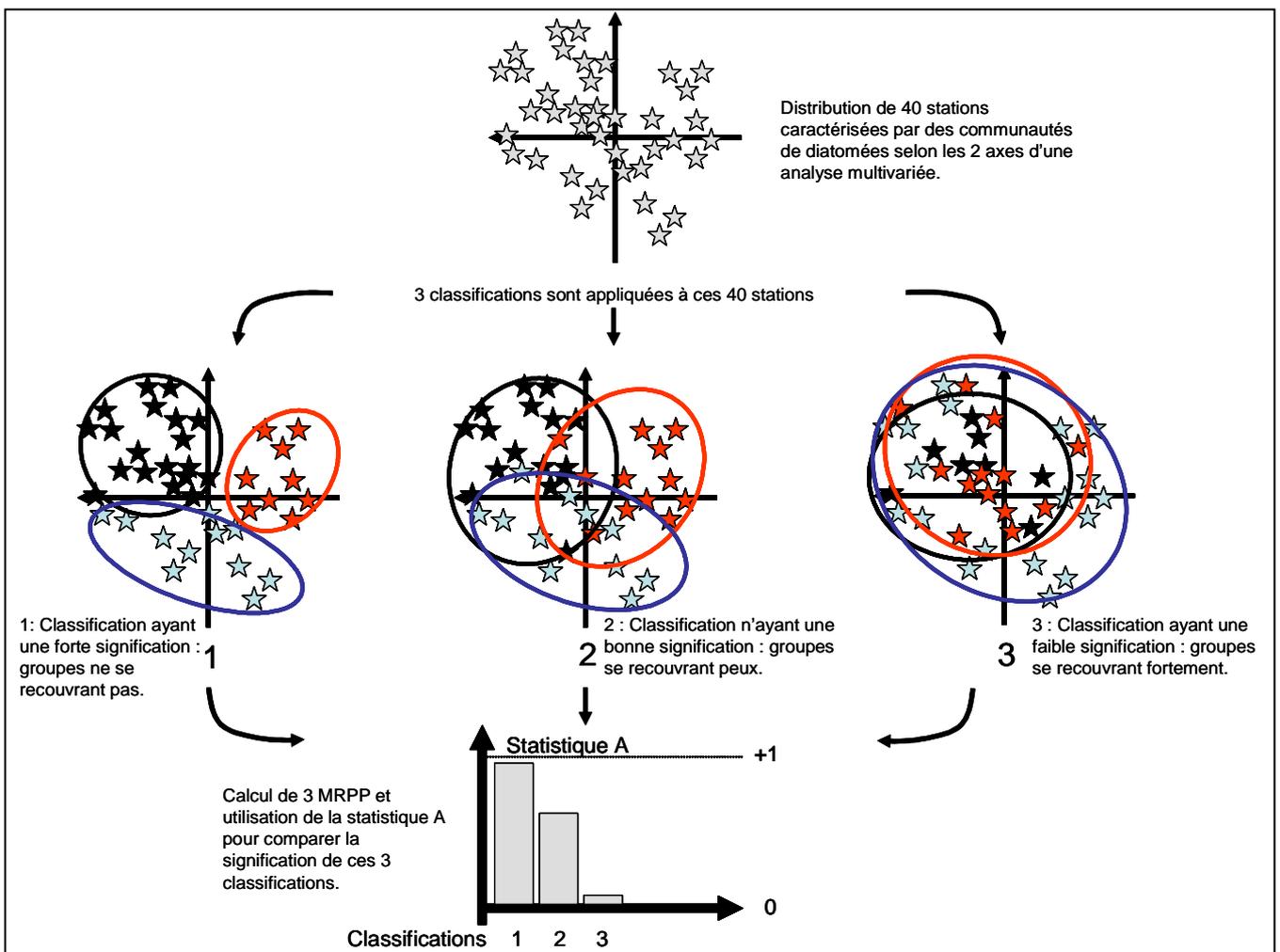


Figure 1 : Explication schématique de l'utilisation des MRPP et de la statistique A calculée lors de l'analyse MRPP.

3. Communautés de diatomées des bassins Moselle, Meuse et Sarre

Une carte de localisation des stations (avec leurs noms) figure en annexe n°5.

3.1 Présentation des principales communautés

L'analyse Twinspan divise d'abord l'ensemble des stations (groupe 1) en deux grands groupes (groupes 2 et 3), correspondant à deux grandes communautés de diatomées. Le groupe 2 se trouve principalement dans les zones de plaines et plateaux à dominante calcaire (Figure 2), ce substrat géologique confère aux cours d'eau une conductivité élevée ce qui va être déterminant pour la composition diatomique. Le groupe 3 se trouve dans les Vosges et les Ardennes (Figure 2), ces deux massifs ont des caractéristiques communes qui sont déterminantes pour la composition des communautés de diatomées : il s'agit de massifs dominés par des roches cristallines qui confèrent une faible conductivité aux cours d'eau. Nous remarquons que le groupe 3 empiète dans la zone de piémont des Vosges qui est de substrat calcaire : les cours d'eau provenant des Vosges conservent sur plusieurs kilomètres une faible conductivité.

Ces deux groupes Twinspan ont une répartition géographique très proche voire identique à celle des diato-écorégions (Tison et al. 2005a, 2005b) proposées par le Cemagref de Bordeaux (Annexe 2).

Enfin, signalons que quelques stations n'entrent pas dans cette définition : la Méholle à Void (station karstique dont l'assemblage diatomique est fortement dominé par *Achnantheidium minutissimum*, taxon ubiquiste de type colonisateur), l'Alzette à Audun le Tiche (station fortement polluée sur calcaire) et le Moderbach à Holving (stations fortement polluées avec des assemblages diatomiques typiques de milieux de fortes concentration en matières organiques).

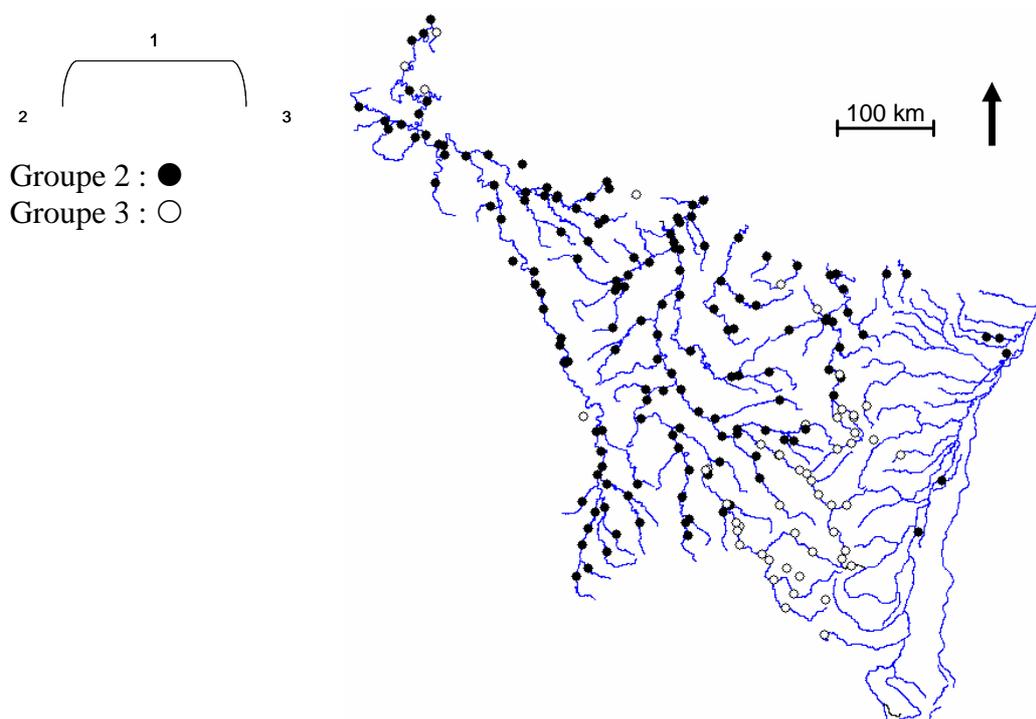


Figure 2 : Localisation des groupes Twinspan 2 et 3.

Le groupe 2 (zones de plaines et plateaux à dominante calcaire) est subdivisé en deux autres groupes (Figure 3), qui eux-mêmes se subdivisent en deux autres groupes (Figure 4) :

- le groupe 4 de qualités variable : fortement pollué à « très bonne » qualité,
 - o le groupe 8 : stations de bonne à très bonne qualité sur calcaire
 - o le groupe 9 : stations moyennement à fortement polluées sur calcaire
- le groupe 5 de qualité moyenne à mauvaise
 - o Le groupe 10 : stations moyennement à fortement polluées sur calcaire
 - o Le groupe 11 : stations polluées à forte et très fortes conductivités

Le groupe 3 (Vosges et Ardennes dominés par des roches cristallines) est subdivisé en deux autres groupes (Figure 3), qui eux-mêmes se subdivisent en deux autres groupes (Figure 4) :

- le groupe 6 de qualité moyenne à mauvaise,
 - o le groupe 12 : stations moyennement à fortement polluées
 - o le groupe 13 : stations polluées des zones de piémont vosgien
- le groupe 7 de « très bonne » qualité.
 - o Le groupe 14 : stations de très bonne qualité, pH acide
 - o Le groupe 15 : stations de très bonne qualité, pH neutre à alcalin

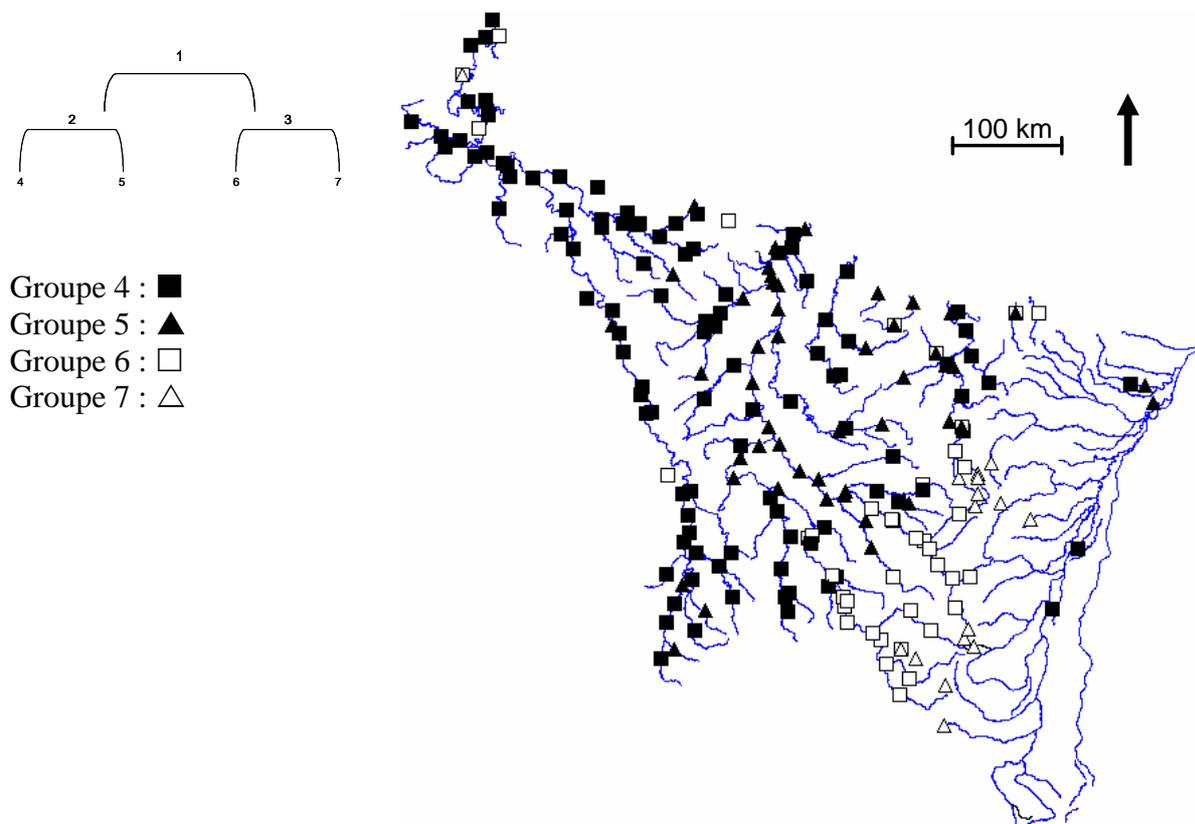


Figure 3 : Localisation des groupes Twinspan 4, 5, 6 et 7.

Les 16 groupes finaux sont caractérisés dans la partie 3.2. Le détail des sous parties dans lesquelles sont caractérisées chaque groupe sont données dans la figure 4.

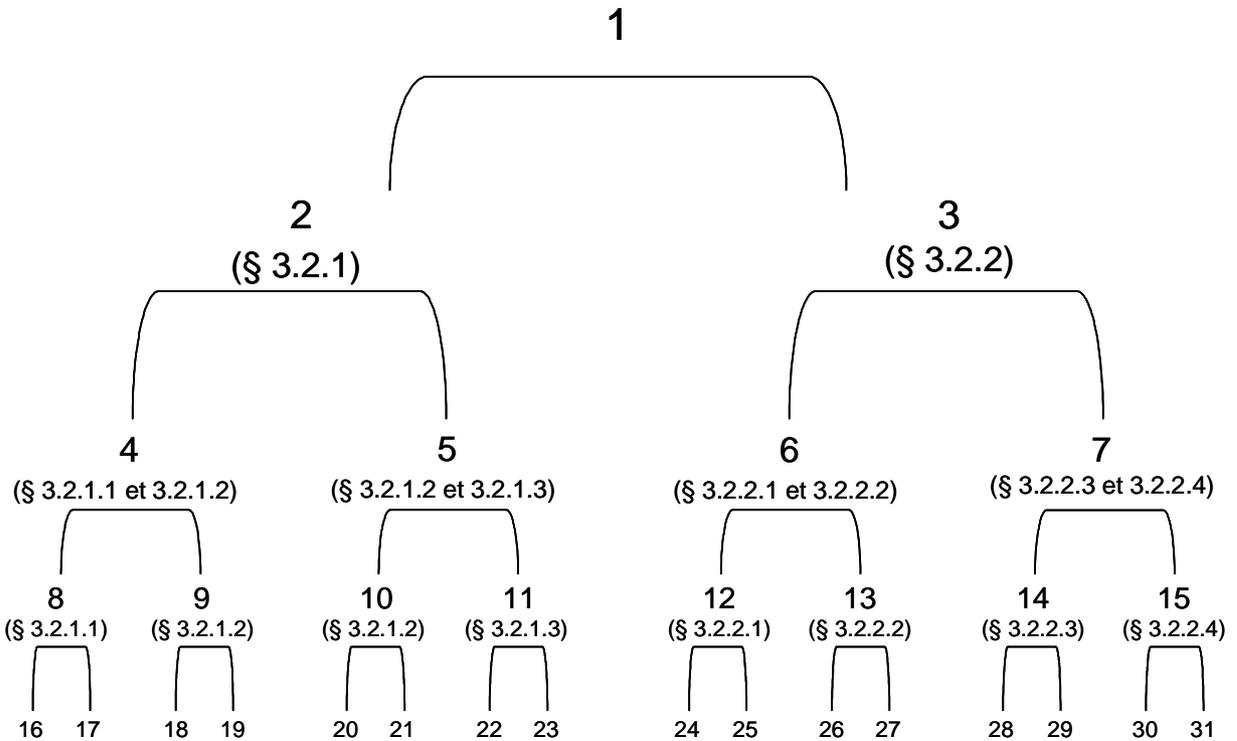


Figure 4 : Détail des sous parties caractérisant chacun des 16 groupes finaux.

Les caractéristiques physiques et chimiques de ces 16 groupes finaux sont données sous forme de boîtes à moustaches à la figure 5 pour les paramètres de typologie (largeur du cours d'eau, altitude, distance à la source) et géochimiques (bicarbonates, calcium, chlorures et conductivité) et à la figure 6 pour les principaux paramètres de pollution (ammonium, nitrite, nitrate, COD, DCO, DBO, oxygène dissous, phosphore total, orthophosphates, azote total).

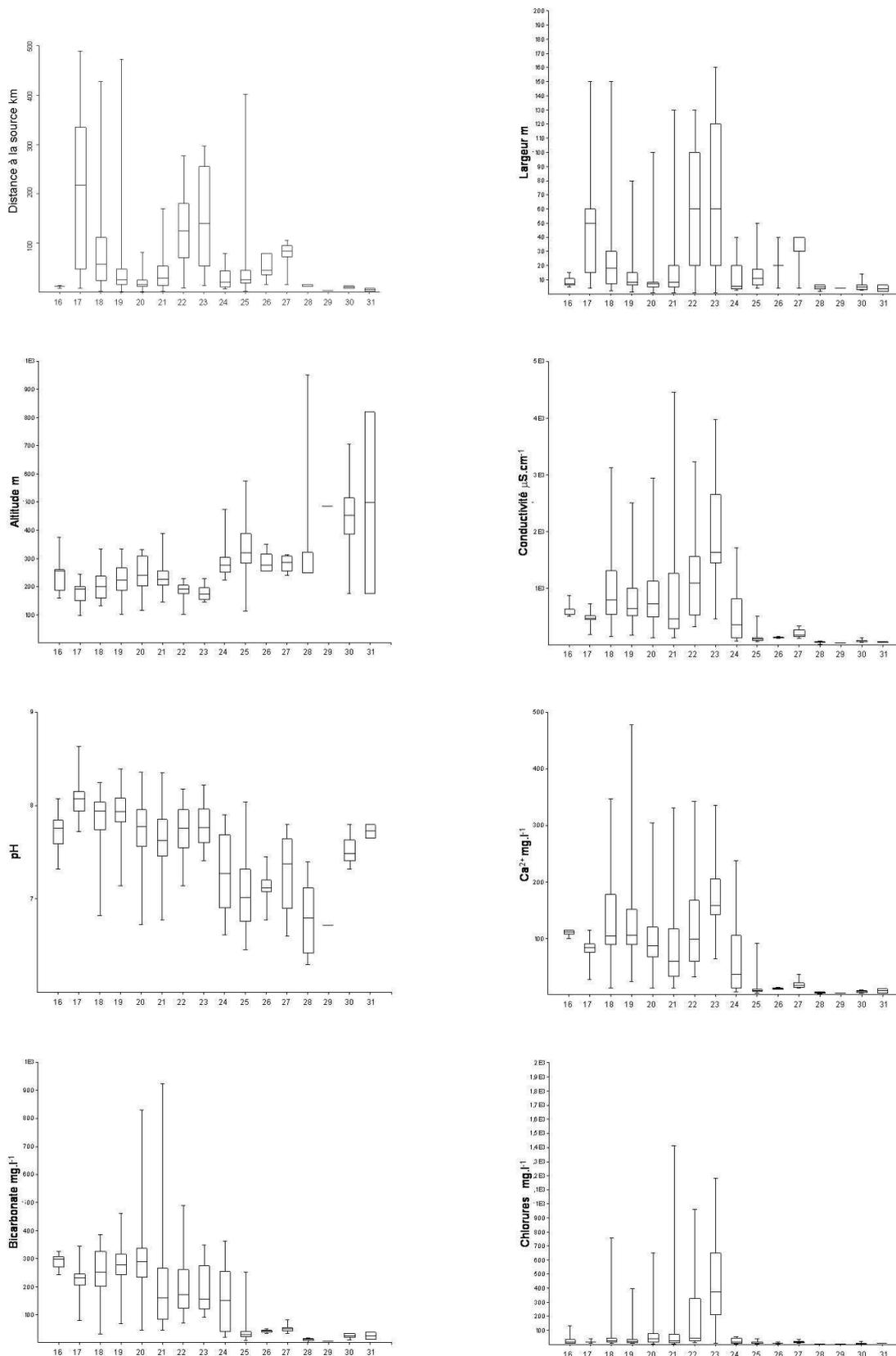


Figure 5 : Boîtes à moustaches des paramètres de typologie et de biogéochimie pour les 16 groupes Twinspan. La boîte représente les quartiles à 25 et 75 %, la ligne horizontale dans la boîte la médiane et les moustaches les valeurs maximales.

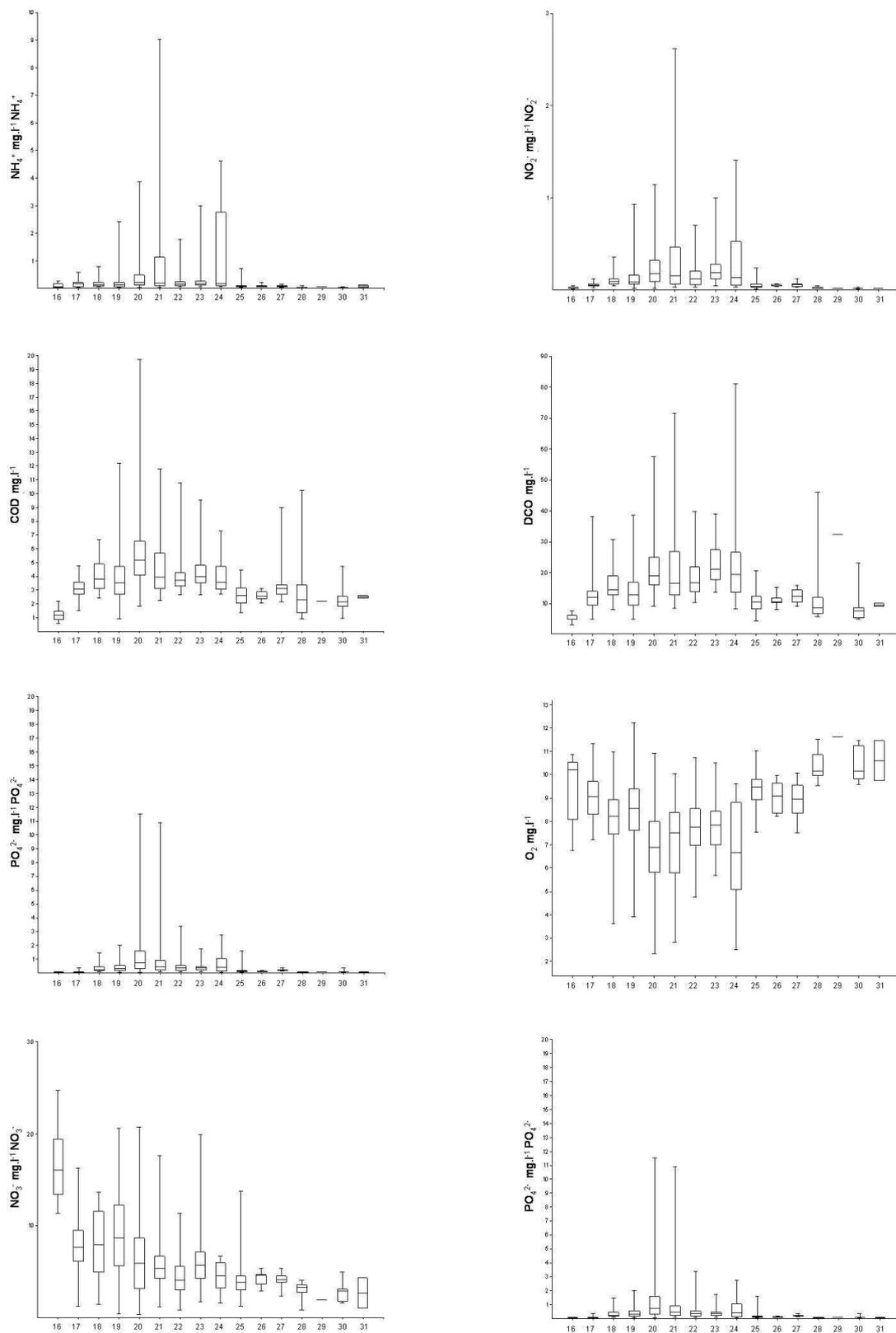


Figure 6 : Boîtes à moustaches des principaux paramètres de pollution pour les 16 groupes Twinspan. La boîte représente les quartiles à 25 et 75 %, la ligne horizontale dans la boîte la médiane et les moustaches les valeurs maximales.

3.2 Présentation des 16 communautés

Les commentaires sur la taille des cours d'eau (très petits, petits, moyens, grand et très grands) sont donnés en référence à la typologie de la circulaire du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable DCE 2005/11 du 29 avril 2005.

Les 7 HER présentes sur le périmètre de l'étude sont les n°4 « Vosges », n°10 « Cotes calcaires de l'Est », n°10/4 « Cotes calcaires exogène des Vosges », n°18 « Alsace », n°22 « Ardennes », n°22/10 « Ardennes exogène des Cotes calcaires de l'Est », et n°15/10 « Plaine de Saône exogène des Cotes calcaires de l'Est ».



3.2.1 Stations présentant des conductivités moyennes à élevées

3.2.1.1 Stations de bonne à « très bonne » qualité sur calcaire

Groupe Twinspan 16 :

Il s'agit principalement de cours d'eau de taille réduite (« très petits » à moyens) riches en carbonates, principalement situés dans l'HER « Côtes-Calcaires » et aussi dans l'HER « Alsace ». Les sites d'échantillonnage de ce groupe se trouvent dans des zones proches de la source (médiane de 12 km) et dans des altitudes modestes (médiane de 254 m). Certains de ces cours d'eau présentent la particularité d'être des résurgences, c'est le cas des cours d'eau Alsaciens (échantillonnés dans le cadre du réseau de référence) et des cours d'eau des Côtes-Calcaires (sauf du Ruisseau des Forges).

Ces secteurs sont indemnes de pollutions organiques (concentrations faibles pour NH_4^+ , NO_2^- , COD) et de pollutions urbaines (PO_4^{2-} , Ptot). Par contre, les concentrations en NO_3^- (médiane de $16 \text{ mg NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$) et azote total (médiane de $4.6 \text{ mg N} \cdot \text{l}^{-1}$) sont élevées et signalent une pollution d'origine agricole. Les valeurs des indices diatomiques indiquent une « très bonne » qualité biologique de ces cours d'eau (la valeur médiane est de 18,8 pour l'IPS).

Les assemblages de diatomées sont dominés par des taxons considérés comme polluosensibles et caractéristiques de conductivités élevées. La plupart des taxons sont de petites tailles et sont attachés au substrat de façon prostrée. Ces assemblages peuvent être considérés comme une référence pour ce type de cours d'eau.

Tableau 1 : Assemblage moyen du groupe Twinspan 16. Pour chaque taxon, l'abondance est indiquée avec la valeur indicatrice si elle est significative. Ce groupe est composé de 8 échantillonnages répartis en 6 stations.

Taxon	%	Taxon indicateur	Carte de répartition du groupe	
ADMI	40,8	23,1		
ADBI	30,6	82,1		
APED	7,7			
DTEN	2,7	35,7		
AMII	1,9			
NDIF	1,4			
NDIS	1,3			
ENCM	1,3	31,1		
CPLI	1,2			
CPLE	1,1			
EOMI	1,1			
GPUM	1,0			
ENMI	0,69			
			16	

Groupe Twinspan 17 :

Les stations de ce groupe sont pour la plupart de grande taille (grands à « très grands »), dans des secteurs éloignés de la source (218 Km), à des altitudes modestes (190 m). La **Meuse** constitue une part importante des échantillons de ce groupe. D'autres cours d'eau, de plus petite taille, tels que le **Rupt-de-Mad**, **l'Othain** et **l'Esche** sont également représentés. Ces cours d'eau sont situés en large majorité dans l'HER « Côtes-Calcaires », dans une moindre mesure dans l'HER 22/10 « Ardennes exogène des Côtes calcaires ». On note un cas particulier, avec la Semois à Haulme qui fait aussi partie de ce groupe et qui se trouve dans l'HER Ardennes.

Ces secteurs présentent un niveau de pollution modéré compte tenu de la taille des cours d'eau considérés et sont bien oxygénés. Cependant les concentrations en nutriments (NO_3^- : 16 mg $\text{NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$) et en matières organiques (COD : 1,2 mg.l-1) restent significatives. Les concentrations en PO_4^{2-} (0.052 mg $\text{PO}_4^{2-} \cdot \text{l}^{-1}$) et Ptot (0.04 mg P.l⁻¹) sont faibles. La valeur médiane de l'indice diatomique IPS est de 14,6 ce qui correspond à une bonne qualité.

Les assemblages de ce groupe sont dominés par des taxons caractéristiques de milieux moyennement pollués (*Amphora pediculus*), mais également on y observe des taxons sensibles à la pollution tel que *Cymbella affinis*, *Achnantheidium minutissimum* et *Navicula cryptotenella*. On observe dans ce groupe un taxon particulier, *Achnantheidium* cf. *straubianum* qui est présent uniquement dans ce groupe 17 caractérisé par des cours d'eau de bonne qualité et plutôt de grande taille. La plupart de ces taxons sont attachés au substrat de façon prostrée, mais la part des taxons mobiles est également importante. On note également la présence de plusieurs taxons planctoniques, qui indiquent que les cours d'eau présentent des zones lenticques favorisant le développement d'algues planctoniques.

Tableau 2 : Assemblage moyen du groupe Twinspan 17. Pour chaque taxon, l'abondance et la valeur indicatrice (si elle est significative) sont indiquées. Ce groupe est composé de 63 échantillonnages répartis en 26 stations.

Taxon	%	Taxon indicateur	Carte de répartition du groupe
APED	31,1	20,4	
ADMI	16,6		
NCTE	5,32		
ADSB	4,03	58	
CPST	2,66		
NCPR	2,37	27,7	
NFON	2,18		
NDIS	2,03		
ADEU	1,99		
NTPT	1,66		
AAMB	1,57		
CAFF	1,54	53,6	
EOMI	1,41		
CPLE	1,01		
NCTO	0,98		
AUGR	0,89	19,3	

3.2.1.2 Stations moyennement à fortement polluées

Groupes Twinspan 18 et 19 :

Les stations de ces deux groupes sont caractérisées par une altitude modeste (valeurs médianes de 199 m pour le groupe 18 et 222 m pour le groupe 19) et des concentrations élevées en calcium (104 mg.l^{-1}) et bicarbonate (251 mg.l^{-1} pour le groupe 18 et 276 mg.l^{-1} pour le groupe 19). Elles sont classés dans les cours d'eau de « très petites » tailles jusqu'aux tailles moyennes pour le groupe 19, les tailles sont par contre variables pour le groupe 18. Les stations se situent principalement dans les « Cotes calcaires » plus rares mais présentes dans les autres HER.

Le niveau de pollution de ces stations est assez important. On note en particulier des concentrations en NO_3^- non négligeables (respectivement pour les groupes 18 et 19 : $7,9 \text{ mg.l}^{-1}$ et $8,6 \text{ mg.l}^{-1}$), ainsi que des concentrations en matières organiques élevées (COD : $3,8 \text{ mg.l}^{-1}$ et $3,5 \text{ mg.l}^{-1}$ respectivement pour les groupes 18 et 19). La qualité selon l'IPS est moyenne à bonne pour ces deux groupes (médiane 13,3 pour le groupe 18 et 14,2 pour le groupe 19).

Les assemblages de ces deux groupes sont largement dominés par *Amphora pediculus*, une petite espèce à attachement prostré, qui est caractéristique des milieux de qualité moyenne. Les assemblages de ces deux groupes sont proches, cependant dans le groupe 18 on remarque la présence de plusieurs *Gyrosigma* (*G. nodiferum*, *G. attenuatum*), qui sont des taxons de grande taille faiblement attachés au substrat, et la présence d'espèces planctoniques (*Cyclotella meneghiniana*, *Aulacoseira ambigua*) : ceci indique probablement que le milieu est plus lentique dans le groupe 18 que dans le groupe 19.

Tableau 3 : Assemblage moyens du groupe Twinspan 18. Pour chaque taxon, l'abondance et la valeur indicatrice (si elle est significative) sont indiquées. Ce groupe est composé de 41 échantillonnages répartis en 27 stations.

Taxon	%	Taxon indicateur	Carte de répartition du groupe
APED	18,6		
NCTE	7,26		
NDIS	4,99		
NTPT	4,7		
RABB	4,67		
NSOC	3,96	40,2	
CPLE	3,65		
CMEN	3,27		
MVAR	3,07		
NGRE	2,83		
GNOD	2,17	56,4	
EOMI	1,94		
NPAL	1,89		
NANT	1,8		
NLAN	1,51		
NCPR	1,3		
FSBH	1,22	36,9	
ADMI	1,2		
NFON	1,15		
AAMB	1,05		

Tableau 4 : Assemblage moyens du groupe Twinspan 19. Pour chaque taxon, l'abondance et la valeur indicatrice (si elle est significative) sont indiquées. Ce groupe est composé de 176 échantillonnages répartis en 80 stations.

Taxon	%	Taxon indicateur	Carte de répartition du groupe
APED	26,1		
NCTE	7,27	24,2	
ADMI	5,96		
NTPT	5,83	31,4	
NDIS	5,8	26,8	
CPLE	4,74		
EOMI	4,31		
RABB	3,67		
NGRE	2,31		
ESBM	2,14		
MVAR	1,82		
NANT	1,62		
NPAL	1,55		
NFON	1,45		
NLAN	1,12		
GPAR	1,1		

Groupes Twinspan 20 et 21 :

Les stations de ces deux groupes se situent principalement dans les secteurs proches de la source (entre 10 et 20 Km), dans des altitudes de l'ordre de 230 m. Ces cours d'eau sont principalement de petite taille. Ils se situent principalement dans l'HER « Côtes-Calcaires » et dans une moindre mesure dans l'HER « Côtes calcaires exogène des Vosges ». Les conductivités sont assez variables (minimum : 128 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, maximum : 4455 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), le pH peut-être également légèrement acide (6,7) à alcalin (8,36).

Ces stations sont caractérisées par une pollution de type organique fréquemment élevée (valeurs médianes respectivement pour les groupes 20 et 21 : NH_4^+ : 0,22 et 0,19 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$, NO_2^- : 0,18 et 0,16 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$). Les concentrations en PO_4^{2-} et Ptot sont également régulièrement importantes (valeurs médianes respectivement pour les groupes 20 et 21 : PO_4^{2-} : 0,73 et 0,42 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$, Ptot : 0,34 et 0,27 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$). Les valeurs des indices diatomiques confirment ces observations et classent en général ces stations dans la classe de qualité moyenne (valeurs IPS médianes respectivement pour les groupes 20 et 21 : 12,5 et 10,1).

Les assemblages sont composés de taxons assez résistants à la pollution, ayant un attachement fort au substrat qui est de type prostré (*Amphora pediculus*, *Cocconeis placentula* var. *euglypta*), ou pouvant être mobiles (*Eolimna minima*, *E. subminuscula*).

Tableau 5 : Assemblages moyens du groupe Twinspan 20. Pour chaque taxon, l'abondance et la valeur indicatrice (si elle est significative) sont indiquées. Ce groupe est composé de 77 échantillonnages répartis en 37 stations.

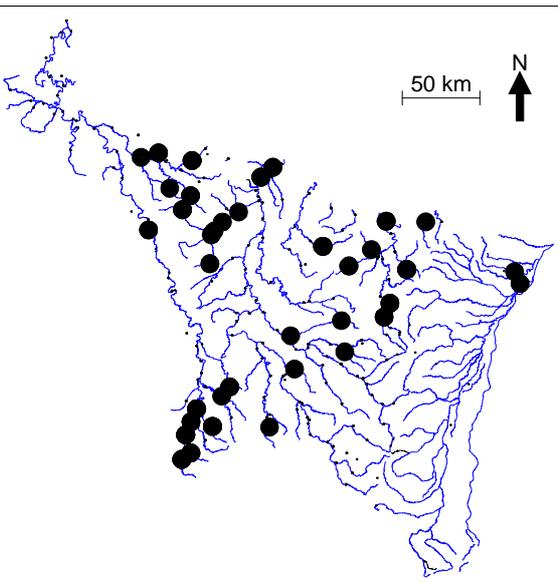
Taxon	%	Taxon indicateur	Carte de répartition du groupe 
APED	28,9		
EOMI	16,8		
ACON	7,38	63,9	
RABB	4,24		
PLAU	2,37	44	
NGRE	2,26		
MAPE	2,2		
ESBM	2,17		
NPAL	2,06		
PLFR	1,99		
ADMI	1,98		
CPLE	1,84		

Tableau 6 : Assemblages moyens du groupe Twinspan 21. Pour chaque taxon, l'abondance et la valeur indicatrice (si elle est significative) sont indiquées. Ce groupe est composé de 95 échantillonnages répartis en 41 stations.

Taxon	%	Taxon indicateur	Carte de répartition du groupe
ESBM	7,6		
CPLE	7,58		
EOMI	6,63		
APED	5,24		
NVDS	4,87		
NPAL	4,49		
GPAR	4,4		
NINC	3,99		
NFON	3,29		
NAMP	2,9		
ADMI	2,72		
NVEN	2,7	27,5	

21

3.2.1.3 Stations polluées à fortes et très fortes conductivités

Groupe Twinspan 22 et 23 :

Ces deux groupes sont constitués de stations éloignées de la source (valeurs médianes de 124 et 139 Km, respectivement pour les groupes 22 et 23) et de grande largeur (valeur médiane de 60 m pour les deux groupes). La caractéristique de ces stations est leurs conductivités élevées (valeurs médianes de 1100 et 1630 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, respectivement pour les groupes 22 et 23). On note la présence de fortes concentrations en chlorures pour le groupe 23 (valeur médiane de 371 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$), mais également en sulfates provenant souvent des exhaures de mines (valeurs souvent entre 100 et 700 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ pour l'Orne). Les stations de ces groupes sont de grande ou de « très grande » taille, mais on note aussi la présence de nombreuses stations de taille moyenne. Elles sont localisées principalement dans les HER « Côtes calcaires » et « Plaine de Saône exogène des Côtes calcaires » et dans une moindre mesure dans l'HER « Côtes-Calcaires exogène des Vosges ».

Deux types de rivières caractérisent ces deux groupes :

- rivières présentant une forte conductivité liée à l'activité humaine :
 - o exhaures de mines : Bist, Fensch, Orne aval, Woigot
 - o soudières : Meurthe en aval de Damelevières, Moselle en aval de la confluence avec la Meurthe (Méréville)
- rivières présentant une forte conductivité naturelle :
 - o Seille, Petite Seille, Sânon : coulent sur des marnes et argiles renfermant des intercalations de gypse et de sel (NaCl). Leurs conductivités sont aux alentours de 1500 à 4000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.
 - o Albe, Rode, Nied Allemande, Nied Francaise, Nied : qui coulent sur des dépôts argilo-limoneux. Leurs conductivités varient entre 1000 et 1800 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

Dans le groupe 22 apparaît essentiellement la Moselle à l'aval de Méréville et son affluent l'Orne influencé par les exhaures miniers, ainsi que la Sarre aval et ses affluents la Nied et l'Albe.

Le groupe 23 comprend la Meurthe puis la Moselle (aval des soudières), ainsi que de plus petits cours d'eau de vallées industrielles influencés ou non par les exhaures miniers : la Rosselle, la Bist, la Fensch, l'Orne aval. La Seille est comprise dans ce groupe, ce cours d'eau présente une forte conductivité naturelle liée à des affleurements de sels gemme.

Ces stations sont caractérisées par une pollution organique importante (valeurs médianes respectivement pour les groupes 22 et 23 : NH_4^+ : 0,137 et 0,174 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$, NO_2^- : 0,118 et 0,187 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$, COD : 3,7 et 4,0 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$). On note également des concentrations en PO_4^{2-} (0,34 et 0,32 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ respectivement pour les groupes 22 et 23) et Ptot importantes (0,24 et 0,26 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ respectivement pour les groupes 22 et 23). Les valeurs des indices diatomiques indiquent que ces stations sont de qualité moyenne (11,4 et 10,9 respectivement pour les groupes 22 et 23).

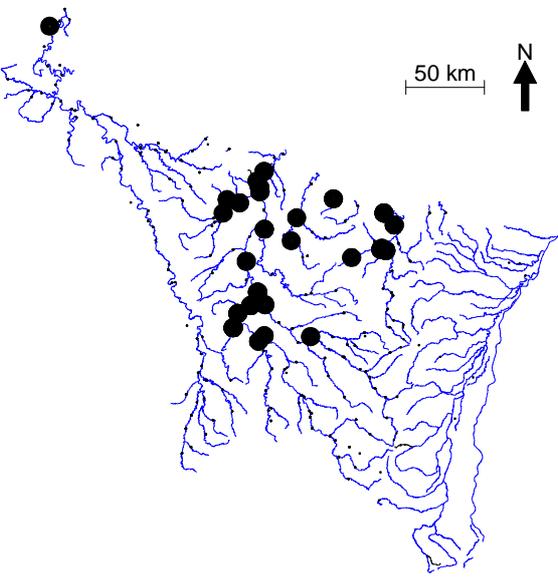
Ces deux groupes sont dominés par des espèces tolérantes à la pollution. On peut cependant observer des différences entre les communautés des groupes 22 et 23.

Le groupe 22 est caractérisé par la présence de taxons planctoniques tels que *Cyclotella atomus* (taxon indicateur du groupe), *C. meneghiniana* et *C. pseudostelligera*. Ces taxons traduisent une vitesse de courant faible. D'autres taxons indicateurs de ce groupe tels

Skeletonema potamos, *Thalassiosira weissflogii*, *Cyclotella atomus* var. *gracilis* indiquent clairement un milieu lent où le plancton se développe.

Le groupe 23 présente moins d'espèces planctoniques, il est caractérisé par des espèces de milieux de fortes conductivités telles que *Navicula recens* (abondante dans les eaux saumâtres d'après Lange-Bertalot 2000) et *Nitzschia frustulum* (Krammer & Lange-Bertalot 1988). Il est d'ailleurs parfois observé dans la Seille (présent dans ce groupe) des taxons marins (*Pleurosira laevis*, *Haslea spicula*) ce qui souligne les fortes concentrations en chlorure de ce type de milieu.

Tableau 7 : Assemblage moyen du groupe Twinspan 22. Pour chaque taxon, l'abondance et la valeur indicatrice (si elle est significative) sont indiquées. Ce groupe est composé de 67 échantillonnages répartis en 26 stations.

Taxon	%	Taxon indicateur	Carte de répartition du groupe
APED	19,5		
NINC	6,85		
EOMI	6,73		
RABB	4,68		
CMEN	4,16		
CPST	3,95		
CATO	2,92	44,9	
CPLE	2,67		
AFUG	1,85		
NFON	1,78		

22

Tableau 8 : Assemblage moyen du groupe Twinspan 23. Pour chaque taxon, l'abondance et la valeur indicatrice (si elle est significative) sont indiquées. Ce groupe est composé de 65 échantillonnages répartis en 25 stations.

Taxon	%	Taxon indicateur	Carte de répartition du groupe	
NINC	22,5	33,3		
APED	13,8			
NIFR	12,2	64,7		
RABB	7,73	25		
ESBM	2,9			
CMEN	2,75			
EOMI	2,67			
NCTE	2,65			
CPST	2,26			
NRCS	1,84	27,6		
				23

3.2.2 Stations présentant de faibles conductivités

3.2.2.1 Stations moyennement à fortement polluées

Groupe Twinspan 24 :

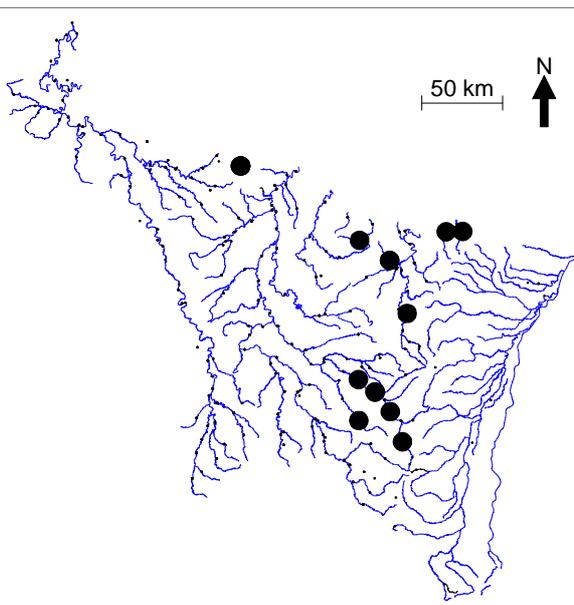
Les stations de ce groupe se situent dans l'HER « Vosges » et « Côtes calcaires ». Les cours d'eau sont « très petits » à moyens (une station est de grande taille). Les valeurs de conductivités sont moyennes ($358 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) et les pH sont basiques (7,2). Ce groupe comprend les stations de la Meurthe entre Azerailles et Fraize.

Ils sont caractérisés par une pollution organique forte (NH_4^+ : $0,187 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, NO_2^- : $0,133 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$). Il s'agit de milieux fréquemment désoxygénés (O_2 : 67,8%). Les concentrations en nutriments sont également importantes (NO_3^- : $4,55 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$). Les valeurs des indices diatomiques indiquent également que ces milieux sont de mauvaise qualité (IPS : 7,8).

Les assemblages sont dominés par des espèces pollutolérantes et typiques des eaux résiduaires (*Mayamaea atomus* var. *permitis*, *Fistulifera saprophila*, *Nitzschia palea*). Par exemple *Nitzschia palea* est un taxon capable de vivre dans des matrices organiques épaisses et de résister à des conditions anoxiques à l'intérieur des biofilms (Kelly 2003). *Mayamaea atomus* var. *permitis*, *Fistulifera saprophila* vivent en colonies denses à l'intérieur de matrices organiques (Lange-Bertalot, 2001). L'écologie de ces taxons traduit bien la présence de fortes concentrations en matières organiques dans ces stations.

Tableau 9 : Assemblage moyen du groupe Twinspan 24. Pour chaque taxon, l'abondance et la valeur indicatrice (si elle est significative) sont indiquées. Ce groupe est composé de 16 échantillonnages répartis en 11 stations.

	24	Indval
EOMI	28	27,9
MAPE	16,9	30,7
NVDS	7,79	38,4
ADMI	7,77	
FSAP	5,31	21,6
NINC	4,58	
NPAL	4,16	
RSIN	3,35	
GPAR	2,66	
CPLE	2,32	
NGRE	1,93	
CMLF	1,74	35,1



24

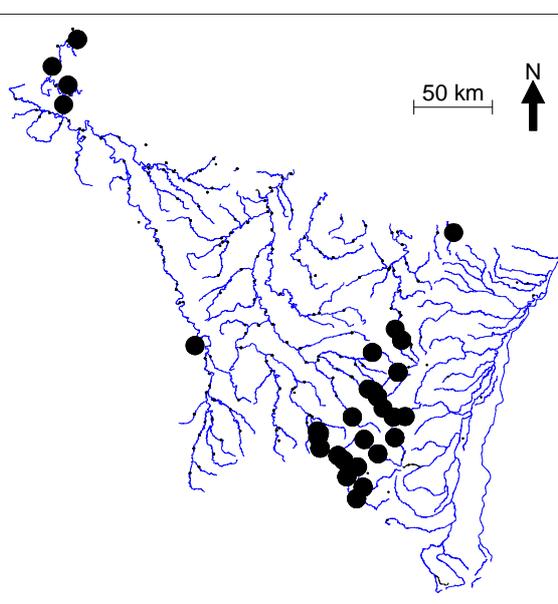
Groupe Twinspan 25 :

Les stations de ce groupe présentent une grande variété de tailles : de « très petits » à « très grands ». Elles se situent principalement dans l'HER « Vosges » et à un niveau moindre dans les « Ardennes », elles sont rares dans les autres HER (le point des Vosges du Nord semble isolé mais cela est dû à l'absence de stations alsaciennes dans l'étude pour assurer la continuité avec le reste des Vosges dans le secteur des Vosges du Nord). La conductivité de ces stations est relativement faible ($113,6 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) et le pH est neutre (7,0). Les concentrations en bicarbonates et calcium sont faibles.

Les concentrations en marqueurs de pollution organique (NH_4^+ , NO_2^- , COD) sont assez faibles. Les concentrations en nutriments sont moyennes (NO_3^- : $3,86 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, PO_4^{2-} : $0,132 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$). Les valeurs des indices diatomiques indiquent une bonne qualité (IPS : 15).

L'assemblage moyen du groupe est dominé par deux espèces polluosensibles (cf. valeurs de polluosensibilité de l'IPS) qui présentent un fort accrochage au substrat (accrochage de type prostré : *Achnantheidium minutissimum*, *Cocconeis placentula* var. *lineata*) ; ceci indique une vitesse de courant relativement élevée. On note également la présence d'un taxon invasif : *Achnanthes subhudsonis* (Coste & Ector, 2000). Cependant plusieurs taxons polluotolérants (*Navicula gregaria*, *Mayamaea atomus* var. *permitis*, *Nitzschia paleacea*), indiquent que ces milieux ne sont pas indemnes de pollution.

Tableau 10 : Assemblage moyen du groupe Twinspan 25. Pour chaque taxon, l'abondance et la valeur indicatrice (si elle est significative) sont indiquées. Ce groupe est composé de 85 échantillonnages répartis en 29 stations.

Taxon	%	Taxon indicateur	Carte de répartition du groupe 
ADMI	16,5		
CPLI	8,98		
EOMI	6,81		
ASHU	5,36		
NGRE	4,49		
ENMI	3,49		
NPAE	3,19		
FCVA	3,03	28,5	
MAPE	2,92		
PLFR	2,78		

3.2.2.2 Stations polluées des zones de piémont vosgien

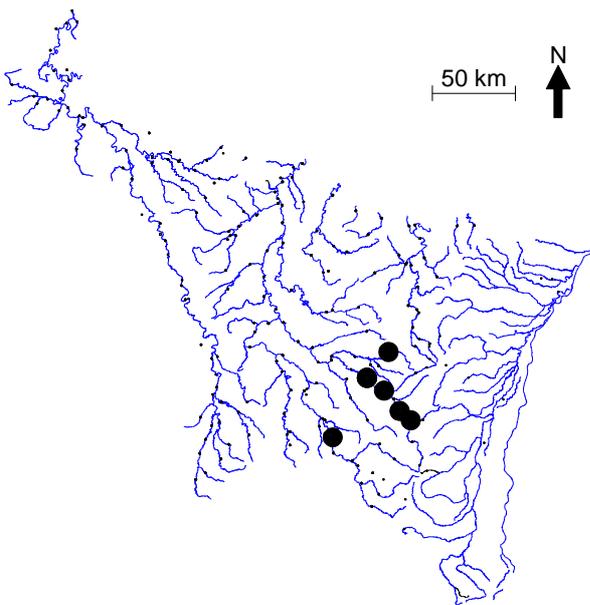
Groupe Twinspan 26 :

La plupart des stations de ce groupe proviennent de la Meurthe entre 35 et 78 Km de sa source ; deux autres cours d'eau le Saint-Oger et la Vezouze sont représentés. Ces stations sont classées dans les grandes et « très grandes » tailles sauf pour le Saint-Oger et la Vezouze qui sont de petite taille. Ils se situent principalement dans l'HER « Côtes calcaires exogène des Vosges » dans les secteurs les plus amont et « Côtes calcaires » plus en aval. Il s'agit de secteurs de transition entre les substrats cristallins et les substrats calcaires. Leurs conductivités sont assez basses ($182 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), les concentrations en carbonates sont faibles, mais le pH est proche de la neutralité à légèrement alcalin (7,3).

Les niveaux de pollutions sont moyens, puisque l'on observe des concentrations en nutriments (NO_3^- : $4.06 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) et en marqueurs de pollutions organique (NO_2^- : $0.06 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, NH_4^+ : $0.076 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) significatifs. Les valeurs des indices diatomiques traduisent ce niveau de pollution, et classent la plupart des ces stations en classe de qualité moyenne (IPS : 11.7).

Les assemblages sont dominés par des espèces des genres *Nitzschia* et *Eolimna*. Les taxons dominants (*Nitzschia fonticola*, *N. inconspicua*, *N. paleacea*) sont caractéristiques de milieux β à α -mésosaprobies, ils sont adaptés pour se développer dans des biofilms épais. *Mayamaea atomus* var. *permitis* est un taxon vivant en colonies denses dans des matrices organiques (Lange-Bertalot, 2001).

Tableau 11 : Assemblages moyens du groupe Twinspan 26. Pour chaque taxon, l'abondance et la valeur indicatrice (si elle est significative) sont indiquées. Ce groupe est composé de 9 échantillonnages répartis en 6 stations.

Taxon	%	Taxon indicateur	Carte de répartition du groupe 
NFON	15,4	39,4	
NINC	10,1		
ADMI	7,07		
NPAE	6,76		
ESBM	6,07		
MAPE	5,52		
EOMI	5,2		
NGRE	5,04		
RSIN	5,01	29,8	
FCVA	2,84		

Groupe Twinspan 27 :

La grande majorité des 8 stations de ce groupe proviennent de la Moselle entre 68 Km (Golbey) et 105 Km (Bainville-aux-Miroirs) de la source. On observe également les stations de la Meurthe ainsi que du Saint-Oger. Il s'agit de cours d'eau de grande à « très grande » taille (sauf pour le Saint-Oger qui est de « très petite » taille). Ils se situent dans l'HER « Côtes calcaires exogène des Vosges » et plus rarement dans les HER « Côtes-Calcaires » et « Vosges ». Le pH de ces stations est légèrement acide (médiane de 6,8) et la conductivité est faible ($53,7 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$). Tout comme le groupe 26, il s'agit de secteurs de transition en piémont vosgien, entre les substrats cristallins et substrat calcaire.

Les niveaux de pollution sont moyens ($\text{NO}_2^- : 0.06 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, $\text{NH}_4^+ : 0.076 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, $\text{NO}_3^- : 4.06 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$), ce qui est confirmé par les valeurs de l'indice diatomique IPS (11,0).

L'assemblage diatomique est caractérisé par la présence d'une espèce (*Achnanthes subhudsonis*) considérée comme invasive selon Coste et Ector (2000). On note également la présence de plusieurs taxons polluo-résistants dans les espèces dominantes (*Eolimna subminuscule*, *Nitzschia inconspicua*, *N. fonticola*). *Fistulifera saprophila* est un taxon vivant en colonies denses dans des matrices organiques, il est fréquent dans les rejets de stations d'épuration (Lange-Bertalot, 2001).

Tableau 12 : Assemblages moyens du groupe Twinspan 27. Pour chaque taxon, l'abondance et la valeur indicatrice (si elle est significative) sont indiquées. Ce groupe est composé de 19 échantillonnages répartis en 8 stations.

Taxon	%	Taxon indicateur	Carte de répartition du groupe
ESBM	12,6	32,2	
NINC	12,3		
NFON	8,85		
NPAE	6,78	29,1	
MAPE	5,91		
ADMI	5,73		
ASHU	5,17	40,1	
FSAP	4,79		
RSIN	4,33		
NAMP	3,7	24,4	

3.2.2.3 Stations de « très bonne » qualité, pH acide

Groupe Twinspan 28 :

Ce groupe est constitué de cours d'eau de « très petite » et petite taille. Tous se situent dans l'HER « Vosges » et sont dans des secteurs proches de la source (inférieurs à 16 Km) : Sarre Rouge, Sarre Blanche, Zorn, Ruisseau des Vinterges. Leurs géologies sont dominées par le grès et le granite. Les conductivités de ces stations sont faibles (valeur médiane de $53,7 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) et leurs concentrations en calcium et en bicarbonates sont également faibles, leur pH est acide (valeur médiane de 6,8).

Les concentrations en nutriments sont faibles (cf. NO_3^- , PO_4^{2-} , Ptot, Ntot) ; les indicateurs de pollutions organiques sont également faibles (DCO, DBO, NH_4^+ , NO_2^-). Les indices diatomiques indiquent que les stations sont de bonne à « très bonne » qualité (médiane de l'IPS : 16,9).

On note que de nombreux taxons indicateurs de ce groupe sont caractéristiques de milieux de faibles conductivités (*Psammothidium subatomoides*, *P. oblongellum*, *Gomphonema rhombicum*), mais également typiques de milieux de « très bonne » qualité (*Gomphonema parvulus*, *Diatoma mesodon*, ainsi que les taxons cités précédemment). Ces assemblages pourraient être considérés comme des références dans les cours d'eau à pH légèrement acide.

Tableau 13 : Assemblages moyens du groupe Twinspan 28. Pour chaque taxon, l'abondance et la valeur indicatrice (si elle est significative) sont indiquées. Ce groupe est composé de 11 échantillonnages répartis en 4 stations.

Taxon	%	Taxon indicateur	Carte de répartition du groupe
ADMI	27,1		
EOMI	11,3		
PSAT	9,07	63,3	
POBG	8,33	91,4	
FCAP	3,05		
GPVL	2,91	42,4	
GRHB	2,89		
DMES	2,63		
GPAR	2,52		
PHEL	2,5	51	
PTLA	2,48	20,9	
PLFR	2,23		
EMIN	2,17	53,7	

28

Groupe Twinspan 29 :

Ce groupe est constitué d'une seule station, le Menaurupt à Sapois. Il s'agit d'un cours d'eau de petite taille situé dans l'HER « Vosges ». Cette station est à 490 m d'altitude et à moins de 10 km de la source. Le milieu est de faible conductivité ($52 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) et est pauvre en bicarbonates, son pH est acide (6,55).

Les concentrations en nutriments sont relativement faibles (PO_4^{2-} , NO_3^- , Ntot), cependant on note des valeurs de DCO ($33 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) et DBO ($3,05 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) élevées ; ceci traduit une pollution organique non négligeable. Les valeurs des différents indices diatomiques sont malgré cela élevées (IPS : 16,6), ces valeurs traduisent surtout la faible concentration en nutriments du milieu.

La communauté diatomique est très différente des autres échantillons de la base de données puisqu'elle est essentiellement composée d'espèces acidophiles et acidobiontes appartenant au genre *Eunotia* (Van Dam et al. 1994). On y observe aussi des taxons caractéristiques de faibles conductivités (*Psammothidium helveticum*, *P. oblongellum*).

Tableau 14 : Assemblages moyens du groupe Twinspan 29. Pour chaque taxon, l'abondance et la valeur indicatrice (si elle est significative) sont indiquées. Ce groupe est composé de 1 échantillonnage répartis en 1 station. Les valeurs Indval n'ont pas été calculées car un seul échantillon est présent dans le groupe ce qui rend le calcul impossible.

Taxon	%	Taxon indicateur	Carte de répartition du groupe
EUIN	80,8		
ETEN	13,4		
PHEL	1,92		
POBG	1,37		
EEXI	0,82		
PLFR	0,55		
AUDI	0,27		
EOMI	0,27		
MVAR	0,27		
PTLA	0,27		

29

3.2.2.4 Stations de « très bonne » qualité, pH neutre à alcalin

Groupe Twinspan 30 :

Les stations se situent dans des petits et « très petits » cours d'eau. Ces tronçons sont proches de la source. Ils sont pauvres en carbonates et leurs conductivités sont faibles (médiane de $84 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$). Toutes ces stations se trouvent dans l'HER « Vosges », sauf un (l'Alyse à Fumay) qui se trouve dans l'HER « Ardennes ». Les pH des ces stations sont neutres à légèrement alcalins (médiane 7,4).

Ces secteurs sont indemnes de pollutions organiques et trophiques, les valeurs des indices diatomiques sont élevées et confirment leur très bonne qualité (médiane pour l'IPS : 17,5).

Les assemblages de diatomées sont dominés par des taxons polluosensibles, caractéristiques de milieux de faibles conductivités, comme c'est le cas pour *Achnantheidium subatomus*, *Psammothidium daonense* (Rimet et al. 2004), *Cocconeis placentula* var. *lineata*, *Gomphonema rhombicum* (Iserentant & Ector 1996). Ces assemblages peuvent être considérés comme des communautés de références pour ces cours d'eau à eaux neutres ou légèrement alcalines de « très petites » à petites tailles dans les HER « Vosges » et « Ardennes ».

Tableau 15 : Assemblage moyen du groupe Twinspan 30. Pour chaque taxon, l'abondance et la valeur indicatrice (si elle est significative) sont indiquées. Ce groupe est composé de 9 échantillonnages répartis en 9 stations.

Taxon	%	Taxon indicateur	Carte de répartition du groupe
ADMI	24,3		
CPLI	18,5	51,9	
ADSU	10,6	59,2	
EOMI	6,12		
FCRP	4,76	41,3	
ENMI	4,32		
ADLS	3,24	46,7	
NGRE	2,67		
GRHB	2,43	30,4	
NIAR	1,88	23,0	

30

Groupe Twinspan 31 :

Ce groupe est constitué de seulement deux stations, l'Alyse à Fumay (Ardennes) et la Meurthe au Valtin amont (Vosges). Il s'agit de deux très petits cours d'eau, situés près de la source (respectivement 8 Km et 2 Km). Ils se trouvent sur des géologies pauvres en carbonates, avec des conductivité faibles (respectivement 64 et 50 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$). Ils présentent un pH neutre à légèrement alcalin (respectivement 7,65 et 7,8).

Ces secteurs sont indemnes de pollutions organiques et trophiques. Les valeurs des indices diatomiques sont élevées et confirment la « très bonne » qualité d'eau de ces deux stations (respectivement IPS 19,1 et 18,5).

Malgré le fait que ces deux stations se trouvent sur des géologies pauvres en carbonates, on n'observe pas uniquement la présence de taxons caractéristiques de milieux de faibles conductivités. Les taxons présents sont surtout typiques des zones de sources, tel que *Diatoma mesodon* (Krammer & Lange-Bertalot, 1991a). *Achnantheidium kranzi* est une espèce que l'on trouve dans des milieux oligotrophes pauvres à modérément riches en électrolytes. Elle est observée principalement dans les zones de sources (Krammer & Lange-Bertalot, 1991b). D'autres espèces telles que *Gomphonema exilissimum* et *Fragilaria gracilis* sont aussi considérées comme des indicatrices de milieux oligosaprobies et oligotrophes (Cemagref, 1982).

Tableau 16 : Assemblage moyen du groupe Twinspan 31. Pour chaque taxon, l'abondance et la valeur indicatrice (si elle est significative) sont indiquées. Ce groupe est composé de 2 échantillonnages répartis en 2 stations.

Taxon	%	Taxon indicateur	Carte de répartition du groupe
FGRA	25,3	99,5	
AMII	18,5	45,3	
ADMI	17,2		
ESLE	6,28	59,1	
ADKR	6,17	49,8	
GMIC	5,76	87,7	
DMES	4,97	57,7	
FCAP	4,29	47,5	
GEXL	2,62	48,7	
ENMI	1,44		

31

4. Signification des HER et des Diato-écorégions pour les communautés de diatomées

Afin d'évaluer l'adéquation entre les HER utilisées au niveau national et les communautés de diatomées de notre aire d'étude, leur signification a été testée et comparée à celles d'autres classifications. De la même façon la signification des diato-écorégions a été testée.

La signification pour les communautés de diatomées de 7 classifications différentes a été testée au moyen d'analyses MRPP. Les classifications testées sont les suivantes :

- Les 5 classes de taille de cours d'eau, utilisée dans la typologie nationale (Circulaire DCE 2005/11 du 29 avril 2005) : très petit, petit, moyen, grand et très grand cours d'eau
- les 7 HER (HER de niveau 2 et HER exogènes) utilisées pour la typologie nationale (Circulaire DCE 2005/11 du 29 avril 2005) et présentes dans l'aire d'étude : n°4 « Vosges », n°10 « Cotes calcaires de l'Est », n°10/4 « Cotes calcaires exogène des Vosges », n°18 « Alsace », n°22 « Ardennes », n°22/10 « Ardennes exogène des Cotes calcaires de l'Est », et n°15/10 « Plaine de Saône exogène des Cotes calcaires de l'Est »
- les 2 diato-écorégions présentes sur la zone d'étude : Vosges/Ardennes, Plaines et plateaux calcaires
- les 5 classes de deux indices diatomiques ont également été testées :
 - o IPS (Indice de Polluosensibilité Spécifique) : classes de très mauvaise, mauvaise, moyenne, bonne et très bonne qualité
 - o IBD (Indice Biologique Diatomées) : classes de très mauvaise, mauvaise, moyenne, bonne et très bonne qualité
- les classifications obtenues à partir de l'analyse Twinspan (§ 3, figure 4) ont également été testées :
 - o classification à 2 groupes (groupes 2 et 3)
 - o classification à 4 groupes (groupes 4 à 7)
 - o classification à 8 groupes (groupes 8 à 15)
 - o classification à 16 groupes (groupes 16 à 31).

La statistique A, calculée lors de l'analyse MRPP a été utilisée pour comparer la signification de ces différentes classifications. La figure 7 donne les valeurs de la statistique A pour ces classifications.

La statistique A augmente de par son calcul lorsque le nombre de groupes augmente. Il convient de comparer des valeurs de statistique A de classifications ayant un nombre de groupes équivalent. La valeur de statistique A des groupes Twinspan peut-être utilisée comme valeur maximale à atteindre pour une classification puisque les groupes Twinspan ont été définis à partir des diatomées elles-mêmes.

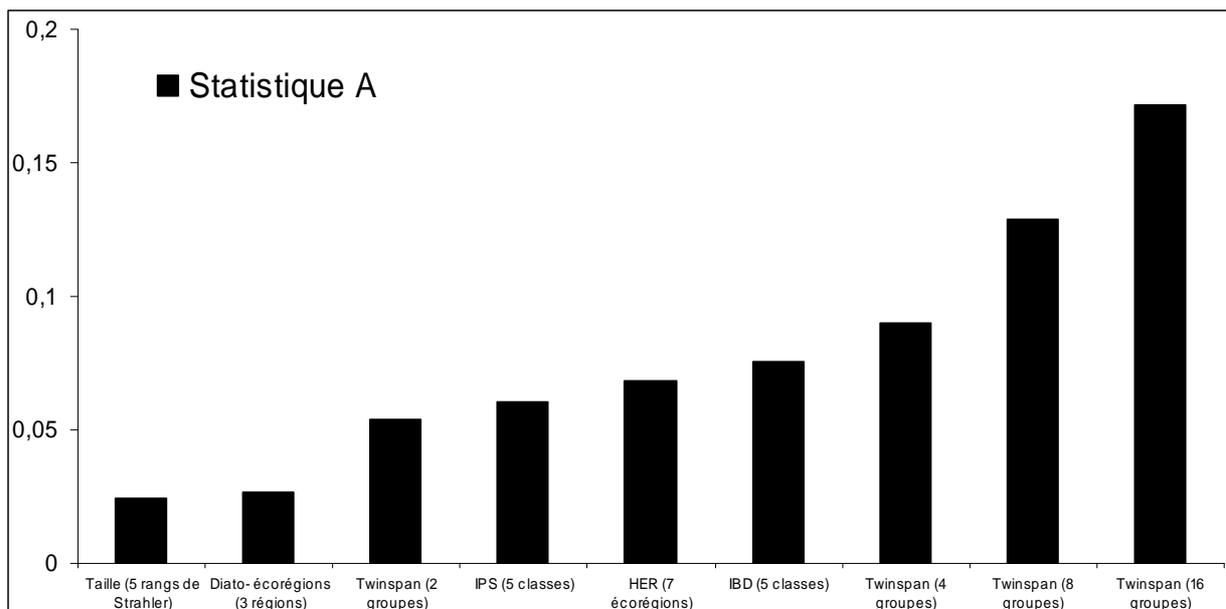


Figure 7 : Quantification de la signification des différents types de classification pour les communautés de diatomées au moyen de la statistique A (proche de 1 : signification forte, proche de 0 : signification faible).

Afin de visualiser l'importance des classifications énumérées ci-dessus, une ACP (analyse en composantes principales) sur les communautés de diatomées a été réalisée. Il a été superposé à cette ACP ces différentes classifications par des codes de couleur (Figure 8a et 8b).

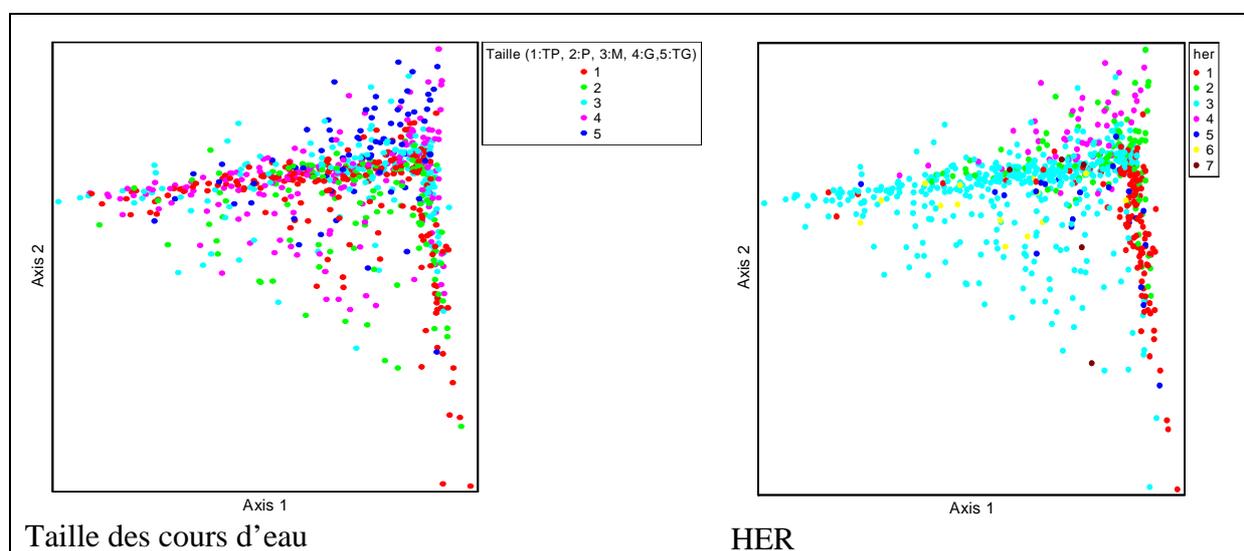


Figure 8a : Répartition des 741 échantillons de diatomées selon les 2 premiers axes d'une ACP (axe 1 : 25%, axe 2 : 11% de la variance). Des classes de couleur ont été attribuées à chacune des classifications (tailles de cours d'eau, HER).

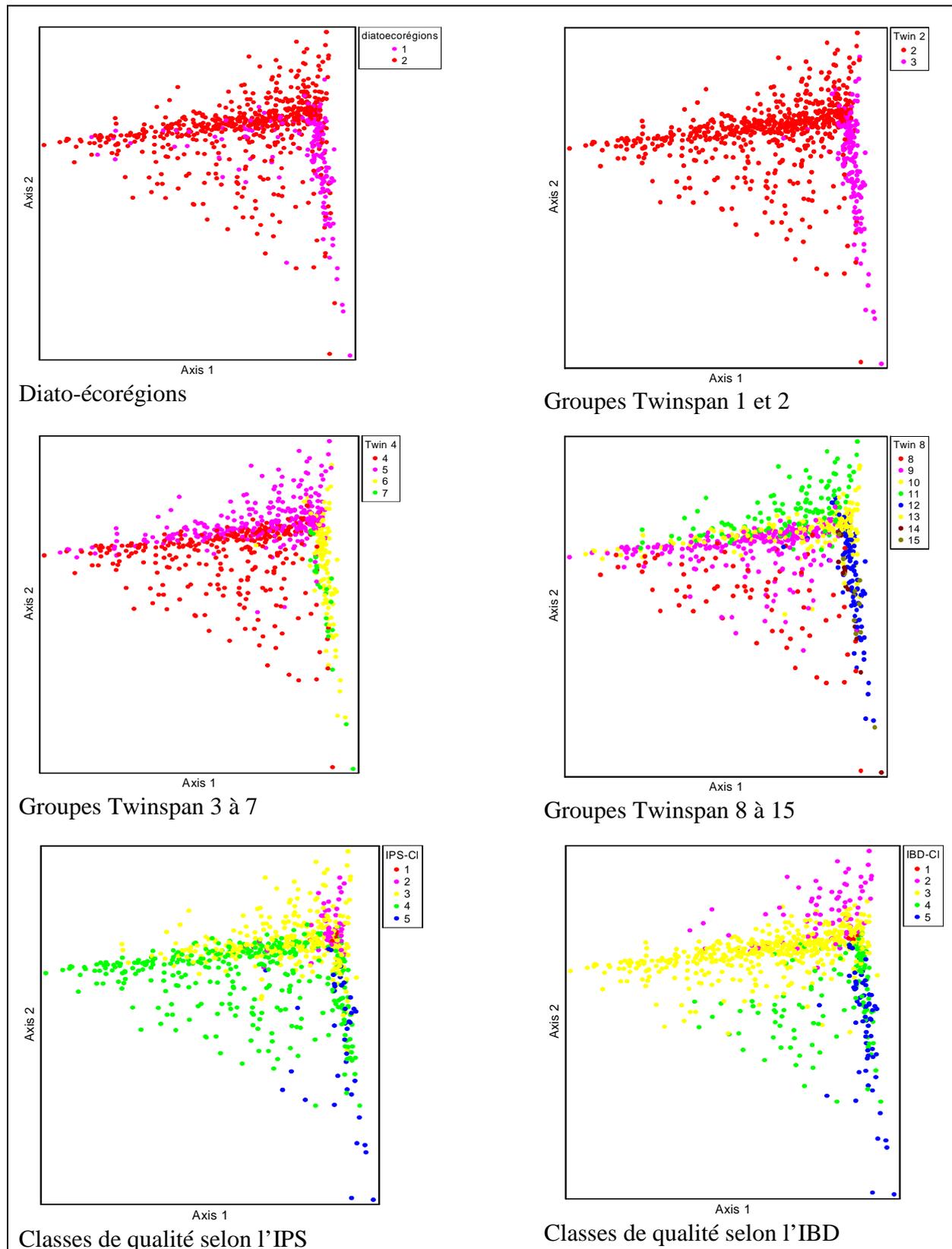


Figure 8b : Répartition des 741 échantillons de diatomées selon les 2 premiers axes d'une ACP (axe 1 : 25%, axe 2 : 11% de la variance). Des classes de couleur ont été attribuées à chacune des classifications (diato-écorégion, groupes Twinspan, classes de qualité IBD et IPS). Les 16 groupes Twinspan finaux n'ont pas été représentés (nombre de couleurs différentes trop important pour réaliser la figure).

Les figures 7 et 8a montrent que la taille du cours d'eau (rang de Strahler) est la classification la moins significative pour les communautés de diatomées par rapport aux HER ou aux classes de qualité suivant l'IPS et l'IBD. Sa statistique A est faible, par rapport à un nombre de groupe Twinspan équivalent (4 groupes) : environ 27% de sa valeur. La figure 8 confirme cette observation puisque les tailles sont assez « mélangées ».

Les diato-écorégions ont une valeur de A faible. Cependant, leur faible nombre de classes (2 régions) doit permettre de relativiser cette faible valeur. En effet la valeur de la statistique A est de 50% de celle de la classification Twinspan à 2 groupes ce qui est relativement élevé. D'autre part la figure 8 montre que la répartition des diato-écorégions sur l'ACP est très proche de celle des groupes Twinspan 2 et 3.

Les HER ont une signification importante, qui est équivalente à celles de l'IPS et de l'IBD. Elle est de l'ordre de 52% de la classification Twinspan à 8 groupes. Ceci est confirmé par la figure 8 qui montre une bonne séparation de certaines HER.

5. Conclusions

Les analyses Twinspan montrent que la zone d'étude peut-être divisée en 4 grands types de communautés :

- les communautés neutrophiles à légèrement acidophile des petits cours d'eau sur roches cristallines. Le groupe n°28, 30 et 31 correspondent aux communautés de « très bonne » qualité des HER Vosges et Ardennes.
- les communautés neutrophiles à basophiles des petits cours d'eau calcaires. Le groupe 16 correspond aux communautés de « très bonne » qualité des petits cours d'eau des HER Côtes calcaires et Alsace.
- les communautés neutrophiles à basophiles des cours d'eau moyens à grands sur calcaires (Côtes calcaires). Le groupe 17 correspond aux communautés de bonne qualité des cours d'eau de l'HER Côtes calcaires.
- les communautés basophiles des cours d'eau très fortement minéralisés (Meurthe en aval de Damelevières, Moselle en aval de la confluence avec la Meurthe, bassin de la Seille). Certains de ces cours d'eau présentent des conductivités naturellement élevées (cf. groupes 22 et 23), avec des concentrations élevées en NaCl. Ils se trouvent sur l'HER Côtes calcaires principalement mais n'en sont pas caractéristiques.

Les HER (HER de niveau 2 et exogènes) proposées par Wasson et al. (2001) et reprises dans la circulaire DCE 2005/11 du 29 avril 2005 ont une bonne signification pour les communautés de diatomées. Elles apparaissent comme un bon cadre pour la définition des conditions de référence de diatomées.

Cependant pour améliorer la significativité des HER, certaines modifications pourraient sans doutes être apportées :

- Les petits à moyens cours d'eau sur calcaire de « très bonne » qualité comportent les mêmes types de taxons dans les Côtes Calcaires et d'Alsace. Un rassemblement de ces deux HER semble envisageable.
- Les « très petits » et petits cours d'eau des Vosges et des Ardennes comportent les mêmes taxons. Un rassemblement de ces deux HER semble envisageable.
- Un type particulier pour les milieux de très fortes conductivités, 1500 à 4000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, d'une partie du plateau lorrain semble nécessaire à définir en plus des types existants dans la circulaire actuelle. En effet, cette zone est caractérisée par une microflore particulière qui ne correspond en rien à celle des milieux calcaires classiques.

Les diato-écorégions proposées par le Cemagref de Bordeaux apparaissent également comme un bon cadre pour les diatomées. Elles sont très proches des deux groupes Twinspan 2 et 3. Il s'agit cependant de très grandes régions qui pourraient être affinées de façon similaire aux HER.

Bibliographie

AFNOR, 2000. Détermination de l'Indice Biologique Diatomées (IBD). Norme NF T 90-354. juin 2000, 63 p.

Cemagref 1982. Etude des méthodes biologiques d'appréciation quantitative de la qualité des eaux. Rapport Q.E. Lyon, Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse - Cemagref, Lyon, 218 pp.

Coste M. & Ector L. 2000. Diatomées invasives exotiques ou rares en France: principales observations effectuées au cours des dernières décennies. *Systematics and Geography of Plants*, 70: 373-400.

Dufrene M. & Legendre P. 1997. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs* 67:345-366.

Hill, M.O. 1979. TWINSpan-A FORTRAN program for arranging multivariate data in an ordered two-way table by classification of the individuals and attributes. Ithaca, NY: Ecology and Systematics, Cornell University.

Iserentant R. & Ector L. 1996. *Gomphonema rhombicum* M. Schmidt (Bacillariophyta) typification et description en microscopie optique. *Bulletin Français de Pêche et de Pisciculture*, 341-342 : 115-124.

Kelly, M.G. 2003. Short term dynamics of diatoms in an upland stream and implications for monitoring eutrophication. *Environ. Pollut.*, 125: 117-122.

Krammer, K & Lange-Bertalot, H. 1986-1991. Bacillariophyceae 1. Teil: Naviculaceae; 2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae; 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae; 4. Teil: Achnanthaceae. Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema. - In Ettl, H., Gärtner, G., Gerloff, J., Heynig, H. & Mollenhauer, D. (eds): Süßwasserflora von Mitteleuropa. - Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Germany.

Lange-Bertalot, H. 2001. Diatoms of Europe. Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats. Vol. 2. Navicula sensu stricto. 10 Genera Separated from Navicula sensu lato. Frustulia. A.R.G. Gantner Verlag K.G, Ruggell. 526 pp.

Lenoir A. & Coste M, 1996. Development of a practical diatom index of overall water quality applicable to the french national water board network. In: Whiton B.A. & Rott E. (eds). Use of algae for monitoring rivers II, Innsbruck Austria 17-19 sept 95, Studia Student. Gmbh : 29-43.

- MacCune, B. & Mefford, M.J. 1999. Multivariate analysis of ecological data. Version 4.01. MjM software, Glenden Beach, Oregon, USA.
- Rimet F., Hoffmann L. Cauchie H.M. & Ector L., 2004. Regional distribution of diatom assemblages in the headwater streams of Luxembourg. *Hydrobiologia*, 520: 105-117.
- Rimet F., Matte J.L. & Mazuer P., 2006. Etat des rivières en Lorraine évalué au moyen des indices diatomiques – Synthèse 2000-2005. Rapport Diren Lorraine, Metz, 65 pp.
- Rimet F., Matte J.L. & Mazuer P., 2006. Analyse de l'application de deux indices diatomées sur les cours d'eau lorraine : I.B.D. et I.P.S. Rapport Diren Lorraine, Metz, 21 pp.
- Tison J., Coste M. & Delmas F., 2005a. Flores diatomiques des cours d'eau : proposition de valeurs limites du « Bon Etat » pour l'IPS et l'IBD. Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, Direction de l'Eau, 20 pp.
- Tison J., Park Y.S., Coste M., Wasson J.G., Ector L., Rimet F., Delmas F., 2005b. Diatom community variability and hydro-ecoregions: a French assessment. *Water Research*, 39: 3177-3188.
- Van Dam H., Mertens A. & Sinkeldam J. 1994. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Netherland Journal of Aquatic Ecology* 28, 117–133.
- Wasson J.G., Chandesris A., Pella H. & Souchon Y. 2001. Définition des Hydroécorégions françaises. Méthodologie de détermination des conditions de référence au sens de la Directive Cadre pour la gestion des eaux. Rapport de phase 1. Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement, Cemagref, Labo N°10090 : 68 pp.

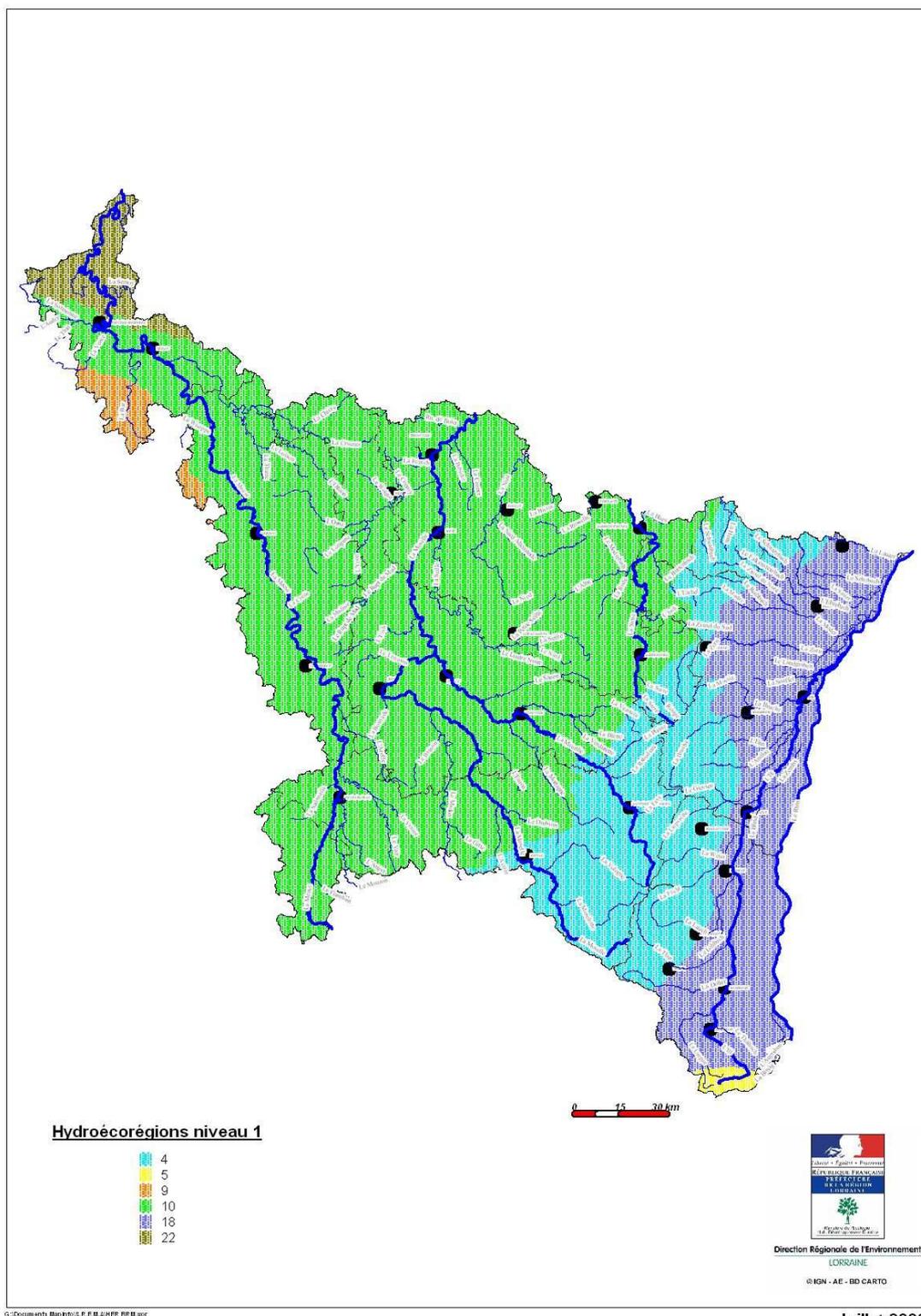
Annexe 1 : Signification des codes (codes Omnidia) et listes des taxons utilisés dans les analyses statistiques de ce rapport

AAMB	<i>Aulacoseira ambigua</i> (Grunow) Simonsen	CRAC	<i>Craticula accomoda</i> (Hustedt) Mann
AATO	<i>Achnanthes atomus</i> Hustedt	CSOL	<i>Cymatopleura solea</i> (Brébisson) W. Smith var. <i>solea</i>
ACHS	<i>Achnanthes</i> sp.	CSTE	<i>Cyclotella stelligera</i> Cleve et Grunow
ACON	<i>Achnanthes conspicua</i> A.Mayer	CTUM	<i>Cymbella tumida</i> (Brébisson) Van Heurck
ACOP	<i>Amphora copulata</i> (Kützing) Schoeman et Archibald	DCOT	<i>Diademsis contenta</i> (Grunow) Mann
ADBI	<i>Achnantheidium biasoletianum</i> (Grunow) Lange-Bertalot	DMAR	<i>Diploneis marginestriata</i> Hustedt
ADCT	<i>Achnantheidium catenatum</i> (Bily et Marvan) Lange-Bertalot	DMES	<i>Diatoma mesodon</i> (Ehrenberg) Kützing
ADEU	<i>Achnantheidium eutrophilum</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot	DOBL	<i>Diploneis oblongella</i> (Naegeli) Cleve-Euler
ADKR	<i>Achnantheidium kranzii</i> (Lange-Bertalot) Round et Bukhtiyarova	DOVA	<i>Diploneis ovalis</i> (Hilse) Cleve
ADLS	<i>Adlafia suchlandtii</i> (Hustedt) Moser Lange-Bertalot et Metzeltin	DTEN	<i>Denticula tenuis</i> Kützing
ADMF	<i>Achnantheidium minutissima</i> (Kützing) Czarnecki var. <i>affinis</i> (Grunow) Bukhtiyarova	DVUL	<i>Diatoma vulgare</i> Bory
ADMI	<i>Achnantheidium minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki	ECAE	<i>Encyonema caespitosum</i> Kützing
ADMM	<i>Adlafia minuscula</i> var. <i>muralis</i> (Grunow) Lange-Bertalot	EEXI	<i>Eunotia exigua</i> (Brébisson) Rabenhorst
ADMS	<i>Adlafia minuscula</i> (Grunow) Lange-Bertalot	EMIN	<i>Eunotia minor</i> (Kützing) Grunow
ADSA	<i>Achnantheidium saprophila</i> (Kobayasi et Mayama) Round et Bukhtiyarova	ENCM	<i>Encyonopsis microcephala</i> (Grunow) Krammer
ADSB	<i>Achnantheidium straubianum</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot	ENMI	<i>Encyonema minutum</i> (Hilse) D.G. Mann
ADSU	<i>Achnantheidium subatomus</i> (Hustedt) Lange-Bertalot	EOCO	<i>Eolimna comperei</i> Ector, Coste et Iserentant
AFOR	<i>Asterionella formosa</i> Hassall	EOMI	<i>Eolimna minima</i> (Grunow) Lange-Bertalot
AINA	<i>Amphora inariensis</i> Krammer	EPRO	<i>Encyonema prostratum</i> (Berkeley) Kützing
AMII	<i>Achnanthes minutissima</i> Kützing var. <i>inconspicua</i> Oestrup	ESBM	<i>Eolimna subminuscula</i> (Manguin) Moser, Lange-Bertalot et Metzeltin
AMMO	<i>Amphora montana</i> Krasske	ESLE	<i>Encyonema silesiacum</i> (Bleisch) D.G. Mann
AOVA	<i>Amphora ovalis</i> (Kützing) Kützing	ETEN	<i>Eunotia tenella</i> (Grunow) Hustedt
APED	<i>Amphora pediculus</i> (Kützing) Grunow	EUIN	<i>Eunotia intermedia</i> (Krasske) Nörpel et Lange-Bertalot
ASHU	<i>Achnanthes subhudsonis</i> Hustedt	FARC	<i>Fragilaria arcus</i> (Ehrenberg) Cleve
AUDI	<i>Aulacoseira distans</i> (Ehrenberg) Simonsen	FBID	<i>Fragilaria bidens</i> Heiberg
AUGR	<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	FCAP	<i>Fragilaria capucina</i> Desmazieres var. <i>capucina</i>
AVEN	<i>Amphora veneta</i> Kützing	FCRO	<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton
BPAX	<i>Bacillaria paxillifera</i> (O.F. Müller) Hendey var. <i>paxillifer</i>	FCRP	<i>Fragilaria capucina</i> Desmazières var. <i>rumpens</i> (Kützing) Lange-Bertalot
CAFF	<i>Cymbella affinis</i> Kützing var. <i>affinis</i>	FCVA	<i>Fragilaria capucina</i> Desmazières var. <i>vaucheriae</i> (Kützing) Lange-Bertalot
CAGR	<i>Cyclotella atomus</i> var. <i>gracilis</i> Genkal et Kiss	FGRA	<i>Fragilaria gracilis</i> Østrup
CATO	<i>Cyclotella atomus</i> Hustedt	FLEN	<i>Fallacia lenzi</i> (Hustedt) Lange-Bertalot
CBAC	<i>Caloneis bacillum</i> (Grunow) Cleve	FMOC	<i>Fallacia monoculata</i> (Hustedt) D.G. Mann
CDUB	<i>Cyclostephanos dubius</i> (Fricke) Round	FPUL	<i>Fragilaria pulchella</i> (Ralfs) Lange-Bertalot
CINV	<i>Cyclostephanos invisitatus</i> (Hohn et Hellerman) Theriot, Stoermer et Hakansson	FSAP	<i>Fistulifera saprophila</i> (Lange-Bertalot et Bonik) Lange-Bertalot
CMED	<i>Cyclotella meduanae</i> Germain	FSBH	<i>Fallacia subhamulata</i> (Grunow) D.G. Mann
CMEN	<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing	FUAC	<i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot var. <i>acus</i> (Kützing) Lange-Bertalot
CMLF	<i>Craticula molestiformis</i> (Hustedt) Lange-Bertalot	GACC	<i>Geissleria acceptata</i> (Hustedt) Lange-Bertalot et Metzeltin
COCE	<i>Cyclotella ocellata</i> Pantocsek	GANG	<i>Gomphonema angustatum</i> (Kützing) Rabenhorst
CPED	<i>Cocconeis pediculus</i> Ehrenberg	GEXL	<i>Gomphonema exilissimum</i> (Grunow) Lange-Bertalot et Reichardt
CPLA	<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg var. <i>placentula</i>	GGRA	<i>Gomphonema gracile</i> Ehrenberg
CPLI	<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg var. <i>lineata</i> (Ehrenberg) Van Heurck	GMIC	<i>Gomphonema micropus</i> Kützing var. <i>micropus</i>
CPPL	<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg var. <i>pseudolineata</i> Geitler	GMIN	<i>Gomphonema minutum</i> (Agardh) Agardh f. <i>minutum</i>
CPST	<i>Cyclotella pseudostelligera</i> Hustedt	GNOD	<i>Gyrosigma nodiferum</i> (Grunow) Reimer
		GOLI	<i>Gomphonema olivaceum</i> (Hornemann) Brébisson var. <i>olivaceum</i>
		GOMS	<i>Gomphonema species</i>
		GPAP	<i>Gomphonema parvulum</i> (Kützing) Kützing
		GPAS	<i>Gomphonema parvulum</i> var. <i>parvulum</i> f. <i>saprophilum</i> Lange-Bertalot et Reichardt
		GPLI	<i>Gomphosphenia lingulatiformis</i> (Lange-Bertalot et Reichardt) Lange-Bertalot
		GPRI	<i>Gomphonema pumilum</i> var. <i>rigidum</i> Reichardt et Lange-Bertalot

GPUM *Gomphonema pumilum* (Grunow) Reichardt et Lange-Bertalot
 GPVL *Gomphonema parvulus* Lange-Bertalot et Reichardt
 GRHB *Gomphonema rhombicum* M. Schmidt
 GTER *Gomphonema tergestinum* Fricke
 GTRU *Gomphonema truncatum* Ehrenberg
 GYAC *Gyrosigma acuminatum* (Kützing) Rabenhorst
 GYAT *Gyrosigma attenuatum* (Kützing) Rabenhorst
 HCAP *Hippodonta capitata* (Ehrenberg) Lange-Bertalot, Metzeltin et Witkowski
 KCLE *Karayevia clevei* (Grunow) Round et Bukhtiyarova
 KLAT *Karayevia laterostrata* (Hustedt) Kingston
 KPLO *Kolbesia ploenensis* (Hustedt) Kingston
 LGOE *Luticola goeppertiana* (Bleisch) D.G. Mann
 LHUN *Lemnicola hungarica* (Grunow) Round et Basson
 LMUT *Luticola mutica* (Kützing) D.G. Mann
 MAAL *Mayamaea atomus* var. *alcimonica* (Reichardt) Reichardt
 MAAT *Mayamaea atomus* (Kützing) Lange-Bertalot
 MAPE *Mayamaea atomus* var. *permitis* (Hustedt) Lange-Bertalot
 MCIR *Meridion circulare* (Greville) C.A. Agardh var. *circulare*
 MLLC *Mayamaea lacunolaciniata* (Lange-Bertalot et Bonik) Lange-Bertalot
 MVAR *Melosira varians* Agardh
 NACI *Nitzschia acicularis* (Kützing) W.M. Smith
 NACU *Nitzschia acula* Hantzsch
 NAGF *Nitzschia angustiforaminata* Lange-Bertalot
 NAMP *Nitzschia amphibia* Grunow f. *amphibia*
 NANT *Navicula antonii* Lange-Bertalot
 NARV *Navicula arvensis* Hustedt
 NASP *Navicula* sp.
 NBRG *Nitzschia bergii* Cleve-Euler
 NCIN *Navicula cincta* (Ehrenberg) Ralfs
 NCPL *Nitzschia capitellata* Hustedt
 NCPR *Navicula capitatoradiata* Germain
 NCRY *Navicula cryptocephala* Kützing
 NCTE *Navicula cryptotenella* Lange-Bertalot
 NCTO *Navicula cryptotenelloides* Lange-Bertalot
 NCTV *Navicula caterva* Hohn et Hellerman
 NDIF *Navicula difficillima* Hustedt
 NDIS *Nitzschia dissipata* (Kützing) Grunow var. *dissipata*
 NERI *Navicula erifuga* Lange-Bertalot
 NEXI *Navicula exilis* Kützing
 NFIL *Nitzschia filiformis* (W.M. Smith) Van Heurck var. *filiformis*
 NFON *Nitzschia fonticola* Grunow
 NGER *Navicula germainii* Wallace
 NGRE *Navicula gregaria* Donkin
 NHAN *Nitzschia hantzschiana* Rabenhorst
 NHEU *Nitzschia heufleriana* Grunow
 NIAR *Nitzschia archibaldii* Lange-Bertalot
 NIFR *Nitzschia frustulum* (Kützing) Grunow var. *frustulum*
 NIGR *Nitzschia gracilis* Hantzsch
 NINC *Nitzschia inconspicua* Grunow
 NING *Navicula ingenua* Hustedt
 NINT *Nitzschia intermedia* Hantzsch
 NIPF *Nitzschia paleaeformis* Hustedt
 NIPU *Nitzschia pusilla* (Kützing) Grunow
 NLAN *Navicula lanceolata* (Agardh) Ehrenberg
 NLEV *Nitzschia levidensis* (W. Smith) Grunow
 NLIN *Nitzschia linearis* (Agardh) W.M. Smith var. *linearis*
 NMEN *Navicula menisculus* Schumann var. *menisculus*
 NMIC *Nitzschia microcephala* Grunow
 NNOV *Navicula novaesiberica* Lange-Bertalot
 NPAD *Nitzschia palea* (Kützing) W. Smith var. *debilis* (Kützing) Grunow
 NPAE *Nitzschia paleacea* (Grunow) Grunow
 NPAL *Nitzschia palea* (Kützing) W. Smith
 NRCH *Navicula reichardtiana* Lange-Bertalot var. *reichardtiana*
 NRCS *Navicula recens* (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot
 NREC *Nitzschia recta* Hantzsch
 NRFA *Navicula radiosafallax* Lange-Bertalot
 NRHY *Navicula rhynchocephala* Kützing
 NSHR *Navicula schroeteri* Meister var. *schroeteri*
 NSLU *Navicula sublucidula* Hustedt
 NSOC *Nitzschia sociabilis* Hustedt
 NSOL *Nitzschia solgensis* Cleve-Euler
 NSSY *Navicula schroeteri* Meister var. *symmetrica* (Patrick) Lange-Bertalot
 NSUA *Nitzschia subacicularis* Hustedt
 NTEN *Navicula tenelloides* Hustedt
 NTPT *Navicula tripunctata* (O.F. Müller) Bory
 NTRO *Nitzschia tropica* Hustedt
 NTRV *Navicula trivialis* Lange-Bertalot var. *trivialis*
 NVDS *Navicula seminulum* (Grunow) Lange Bertalot
 NVEN *Navicula veneta* Kützing
 NVER *Nitzschia vermicularis* (Kützing) Hantzsch
 NVIR *Navicula viridula* (Kützing) Ehrenberg
 NVRO *Navicula viridula* (Kützing) Ehrenberg var. *rostellata* (Kützing) Cleve
 NZAG *Nitzschia angustatula* Lange-Bertalot
 NZLT *Nitzschia linearis* (Agardh) W.M. Smith var. *tenuis* (W. Smith) Grunow
 NZSS *Nitzschia* species
 NZSU *Nitzschia supralitorea* Lange-Bertalot
 PBIO *Psammothidium bioretii* (Germain) Bukhtiyarova et Round
 PCLT *Placoneis clementis* (Grunow) Cox
 PDAO *Psammothidium daonense* (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot
 PDAU *Planothidium dau* (Foged) Lange-Bertalot
 PGRN *Planothidium granum* (Hohn et Hellerman) Lange-Bertalot
 PHEL *Psammothidium helveticum* (Hustedt) Bukhtiyarova et Round
 PLAU *Psammothidium lauenburgianum* (Hustedt) Bukhtiyarova et Round
 PLFR *Planothidium frequentissimum* (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot
 POBG *Psammothidium oblongellum* (Oestrup) Van de Vijver
 PPRO *Parlibellus protracta* (Grunow) Witkowski Lange-Bertalot et Metzeltin
 PRST *Planothidium rostratum* (Oestrup) Lange-Bertalot
 PSAT *Psammothidium subatomoides* (Hustedt) Bukhtiyarova et Round
 PSBR *Pseudostaurosira brevistriata* (Grunow) Van Heurck Williams et Round
 PTDE *Planothidium delicatulum* (Kützing) Round et Bukhtiyarova
 PTEL *Planothidium ellipticum* (Cleve) Round et Bukhtiyarova
 PTHA *Planothidium hauckianum* (Grunow) Round et Bukhtiyarova

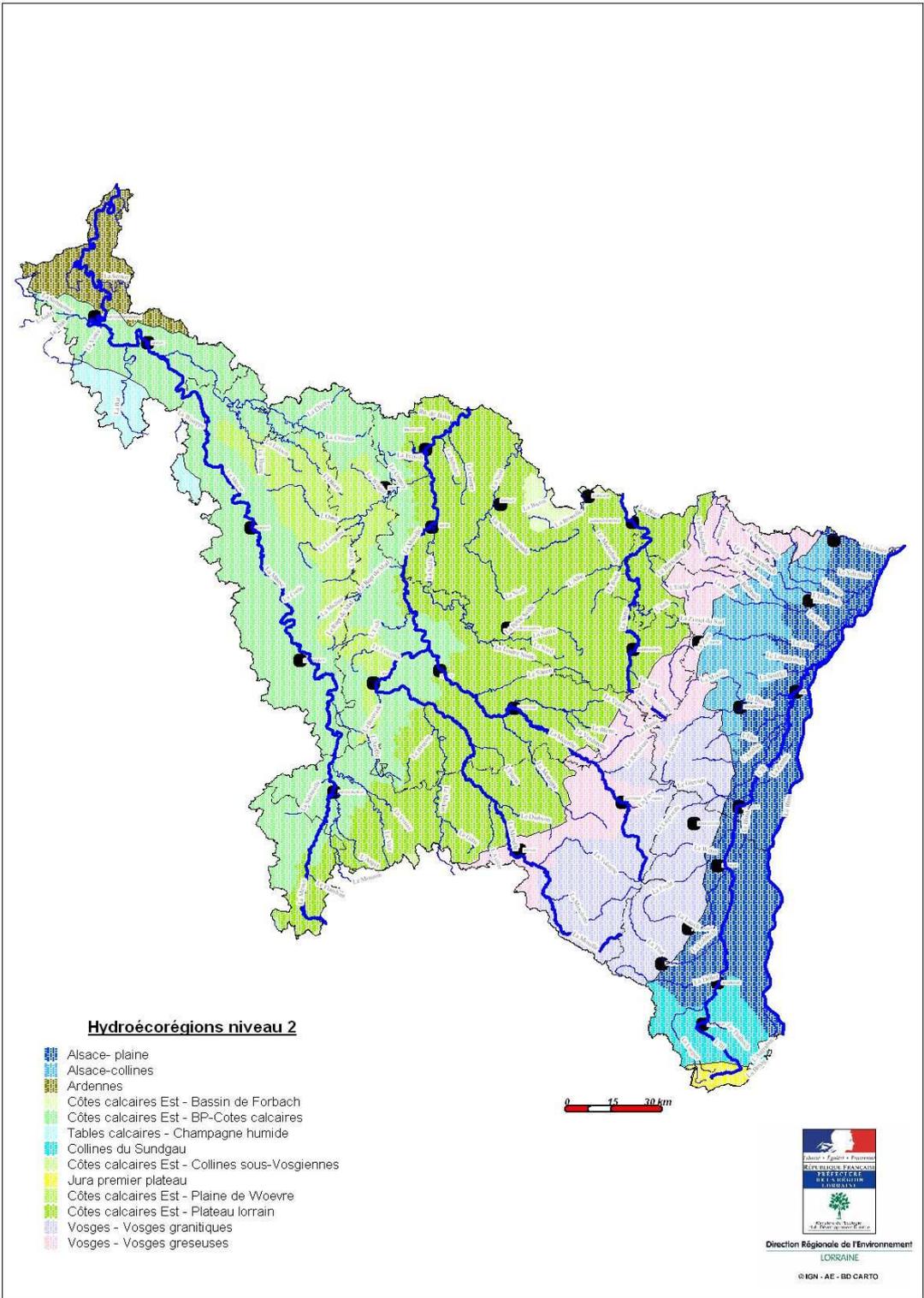
PTLA	<i>Planothidium lanceolatum</i> (Brébisson) Lange-Bertalot	SHTE	<i>Stephanodiscus hantzschii</i> f. <i>tenuis</i> (Hustedt) Hakansson et Stoermer
RABB	<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C.Agardh) Lange-Bertalot	SIDE	<i>Simonsenia delognei</i> Lange-Bertalot
RSIN	<i>Reimeria sinuata</i> (Gregory) Kociolek et Stoermer	SKPO	<i>Skeletonema potamos</i> (Weber) Hasle
RUNI	<i>Reimeria uniseriata</i> Sala Guerrero et Ferrario	SLIN	<i>Surirella linearis</i> W.M.Smith
SANG	<i>Surirella angusta</i> Kützing	SPUP	<i>Sellaphora pupula</i> (Kützing) Mereschkowksy
SBKU	<i>Surirella brebissonii</i> var. <i>kuetzingii</i> Krammer et Lange-Bertalot	SRPI	<i>Staurosira pinnata</i> Ehrenberg
SBRE	<i>Surirella brebissonii</i> Krammer et Lange-Bertalot var. <i>brebissonii</i>	SSVE	<i>Staurosira venter</i> (Ehrenberg) Cleve et Moeller
SCON	<i>Staurosira construens</i> Ehrenberg	TAPI	<i>Tryblionella apiculata</i> Gregory
SELI	<i>Staurosira elliptica</i> (Schumann) Williams et Round	TBRA	<i>Thalassiosira bramaputrae</i> (Ehrenberg) Hakansson et Locker
SFSC	<i>Synedra fasciculata</i> Kützing	THUN	<i>Tryblionella hungarica</i> (Grunow) D.G. Mann
SHAN	<i>Stephanodiscus hantzschii</i> Grunow	TPSN	<i>Thalassiosira pseudonana</i> Hasle et Heimdal
		TWEI	<i>Thalassiosira weissflogii</i> (Grunow) Fryxell et Hasle
		UULN	<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch.) Compère

Annexe 2 : Localisation des HER et des Diato-écorégions.



Juillet 2006

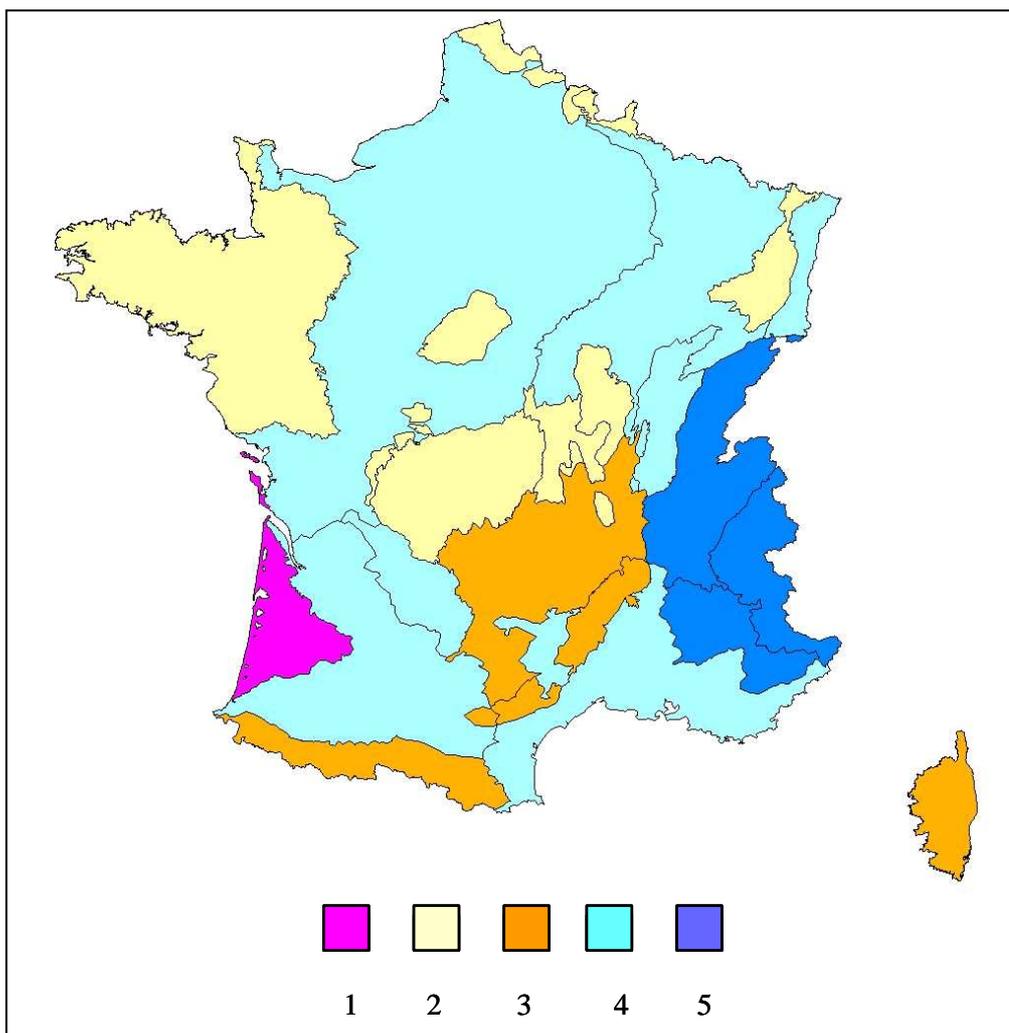
Légende : 4 : Vosges, 5 : Jura, 9 : tables calcaires, 10 : Cotes calcaires est, 18 : Alsace, 22 : Ardennes.



G:\Documents MapInfo\15_P.E.M.AJHEP_BRM.wor

Juillet 2006

Diato-écorégions (Tison et al. 2005a)



HER1	région diato
1	3
2	5
3	3
4	2
5	5
6	4
7	5
8	3
9	4
10	4
11	4
12	2
13	1
14	4
15	4
16	3
17	2
18	4
19	4
20, 21, 22	2

Annexe 3 : Liste des stations avec leurs HER et leurs groupes Twinspan correspondants par année

Liste des stations avec leurs HER correspondantes et les groupes Twinspan auxquelles elles appartiennent pour les différentes années où les diatomées ont-été prélevées. Codes utilisées pour les HER : 1 : Vosges, 2 : Vosges/Côtes calcaire, 3 : Côtes calcaire, 4 : Côtes calcaire/Plaine Saône/Vosges, 5 : Ardennes, 6 : Ardennes/Côtes calcaire, 7 : Alsace.

RNB	Rivière	Station	HER	2000	2001	2002	2003	2004	2005
2049000	Moselle	Saulx	1	25	25	25	25	25	
2049500	Moselotte	Saulxure / Moselle	1			25	25	25	
2049900	Cleurie	Cleurie	1			25	25	30	
2050000	Moselotte	Autrive	1			25	25	25	
2051000	Moselle	Eloyes	1	25	25	25	25	25	
2051300	Vologne	Granges-sur-Vologne	1			25	25	25	
2051600	Neune	Laveline devant Bruyère	1			25	25	25	
2052000	Vologne	Jarmenil	1	25	25	25	25	25	
2053000	Moselle	Epinal	2	25	25	25	25	25	
2054000	Moselle	Golbey	2	25	25	25	27	27	
2054100	Moselle	Chavelot	2	25	25	27	27	27	
2054150	Saint-Oger	Dogneville	1			26	27	25	
2054300	Durbion	Vaxoncourt	3			19	19	19	
2054500	Moselle	Chatel-Nomexy	2	27	27	27	27	27	
2054550	Avière	Frizon	3			19	21	21	
2055000	Moselle	Bainville-aux-Miroirs	2	27	27	27	27	21	
2055500	Euron	Froville	3			19	19	20	
2057000	Moselle	Méréville	2	21	21	22	21	21	
2057100	Illon	Begnecourt (Adompt)	3			19	19	20	
2057150	Madon	Maroncourt	3	19	19	19	19	19	
2057200	Gitte	Velotte	3			19	19	19	
2057400	Madon	Ambacourt	3	19	19	18	19	19	
2057500	Madon	Mesnils-sur-Madon	3	18	18	18	19	19	
2057600	Brenon	Autrey	3			19	19	19	
2058000	Madon	Xeuilley	3	18	18	18	19	22	
2059500	Moselle	Pierre-la-Treiche	4	22	22	22	22	22	
2060500	Moselle	Gondreville	4	22	22	22	21	22	
2060700	Terroin	Jaillon	3	19	19			21	
2060750	Moselle	Liverdun	4	22	22	22	22	22	
2061500	Meurthe	Fraize	1	24	25	25	25	25	
2062500	Fave	Frapelle	1			25	21	25	
2063000	Meurthe	Gratin	1			25	25	26	
2064000	Meurthe	Voivre	1	24	26	26	21	25	
2064800	Rabodeau	Moyenmoutier	1	25	25	25	25	25	
2065200	Plaine	Allarmont	1	25	25	25	25	25	
2065500	Plaine	Raon-l'Etape	1	25	25	25	25	25	
2066000	Meurthe	Thiaville	1	24	24	26	25	25	
2067000	Meurthe	Azerailles	1	24	26	26	26	27	
2067200	Vezouze	Blamont	2			26	25	25	
2067400	Vacon	Barbas	2			19	18	19	
2067500	Blette	Migneville	3	21	21	21	21	21	
2067600	Verdurette	Reclonville	3			19	20	21	
2067800	Vezouze	Thiebaumenil	2			21	21	19	
2068500	Meurthe	Rehainviller	2	21	21	21	21	21	
2068600	Mortagne	Autrey	1	24	25	25	25	25	

RNB	Rivière	Station	HER	2000	2001	2002	2003	2004	2005
2068800	Mortagne	Saint-Maurice sur Mortagne	2			21	21	21	
2069100	Vezouze	Luneville	2	23	21	21	22	22	
2070000	Mortagne	Moyen	2			21	21	21	
2070250	Meurthe	Damelevières	2	21	21	21	21	21	
2070500	Sanon	Lagarde	3	20	18	18	18	19	
2071050	Sanon	Dombasle	3	23	20	23	23	23	
2072400	Meurthe	Art-sur-Meurthe	2	23	23	23	23	23	
2074000	Meurthe	Bouxières	2	23	23	23	22	22	
2075300	Moselle	Millery	4	22	23	22	22	22	
2076400	Esche	Jezainville	3			17	17	17	
2076800	Moselle	Vandières	4			23	22	22	
2077200	Rupt de Mad	Essey-Mazerais	3			19	17	19	
2078000	Rupt de Mad	Onville	3	19	19	17	17	17	
2079000	Moselle	Ars-sur-Moselle	4	23	23	23	23	23	
2081000	Seille	Mulcey	3			21	23	21	
2081300	Petite-Seille	Salonnes	3			23	19	23	
2081500	Seille	Chambrey	3	23	23	23	23	23	
2082000	Seille	Nomeny	3	23	18	19	18	23	
2082900	Seille	Metz	3	23	23	23	22	22	
2084000	Moselle	Hauconcourt	4	23	23	23	23	23	
2085000	Moselle	Blettange	4	23	23	23	23	23	
2085200	Orne	Foameix	3	20	20	19	19	20	
2085400	Orne	Boncourt	3	19	21	18	18	19	
2085600	Yron	Saint-Benoit en Woevre	3	20	21	20	21	21	
2085700	Yron	Jarny	3			19	18	23	
2085825	Seigneulle	Brainville	3			19	20	20	
2085850	Longeau	Friauville	3	19	19	19	20	19	
2086200	Orne	Hatrize	3	23	20	19	23	22	
2086500	Woigot	Briey	3			19	18	22	
2088000	Orne	Joeuf (aval)	3	22	20	22	23	23	
2089900	Orne	Richemont	3	23	22	22	22	22	
2090000	Moselle	Uckange	4	22	22	22	23	22	
2092000	Fensch	Florange	3	21	21	21	21	22	
2093100	Moselle	Manom	4	22	23	18	23	22	
2093200	Kiessel	Thionville	3			20	20	20	
2093600	Canner	Hombourg-Budange	3			19	19	19	
2094000	Canner	Koenigsmaker	3			19	19	19	
2094500	Boler	Gavisse	3			19	20	20	
2094900	Moselle	Sierck	4	23	23	23	23	23	
2094950	Alzette	Audun-le-Tiche	3	24	24	21	24	24	
2094975	Sarre-Blanche	Saint-Quirin	1			28	28	28	
2094980	Sarre-Rouge	Abreschwiller	1	28	28	28	28	28	
2094990	Sarre-Rouge	Nitting	1			25	25	25	
2095050	Sarre	Hesse	2	20	20	21	21	25	
2095500	Bievre	Sarrebourg	3	20	20	19	19	20	
2095600	Sarre	Sarraltroff	2	21	24	21	21	21	
2096000	Sarre	Gosselming	2	21	21	21	21	21	
2096500	Isch	Wolfskirchen	3			19	18	19	
2096900	Sarre	Keskastel	2	22	21	22	22	22	
2096925	Albe	Francaltroff	3	21	22	21	20	20	

RNB	Rivière	Station	HER	2000	2001	2002	2003	2004	2005
2096975	Moderbach	Holving	3	24	24	20	21	21	
2096990	Rode	Sarralbe	3	22		22	22	22	
2097000	Albe	Sarralbe	3	19	22	18	19	21	
2098200	Eichel	Waldhambach	1	20	20	20	20	19	
2098800	Eichel	Oermingen	2	19	19	19	21	19	
2099500	Sarre	Sarreinsming	2	18	22	23	22	22	
2099800	Blies	Blies-Guersviller	1	20	20	19	18	21	
2100150	Sarre	Grosbleiderstroff	2	22	22	22	22	22	
2100600	Horn	Leidershiedt	1			18	25	24	
2100800	Schwalbach	Volmunster	1	24	21	20	21	21	
2101050	Rosselle	Macheren	3	21	24	21	21	21	
2103800	Rosselle	Petite-Rosselle	3	21	21	21	21	21	
2103850	Bist	Creutzwald	3	21	22	22	23	22	
2103950	Nied-Allemande	Pontpierre	3	20	20	20	20	20	
2104000	Nied-Allemande	Guinglange	3			19	19	23	
2104400	Nied-Francaise	Baudrecourt	3			19	19	19	
2104800	Nied-Francaise	Lemud	3	19	21	18	18	22	
2104900	Rotte	Vatimont	3			19	19	19	
2105000	Nied-Francaise	Pontigny	3			19	19	22	
2106400	Nied	Heckling	3	23	23	19	23	23	
2106500	Meuse	Bassoncourt	3	20	19	20	20	20	
2106550	Flambart	Breuvanne	3			20	20	20	
2106575	Meuse	Bourg-Sainte Marie	3	20	20	20	20	19	
2106600	Meuse	Goncourt	3	19	20	20	20	19	
2106650	Meuse	Bazoilles-sur-Meuse	3			20	20	20	
2106660	Mouzon	Vrecourt	3			19	18	19	
2106700	Anger	Malaincourt	3	20	20	20	20	21	
2106750	Mouzon	Villars	3			19	19	19	
2106800	Saonelle	Villouxel	3	19	19	19	19	19	
2106825	Meuse	Domremy	3	19	19	19	19	19	
2106850	Vair	Belmont-sur-Vair	3			19	19	19	
2106875	Vraine	Removille	3			19	18	20	
2106900	Vair	Soulosse	3	19	19	19	19	19	
2107000	Meuse	Brixey-aux-Chanoines	3	19	19	19	19	19	
2107500	Meuse	Chalaines	3	18	19	17	17	19	
2107600	Aroffe	Aroffe	3			19	20	20	
2107800	Aroffe	Rigny-Saint Martin	3			17		17	
2107900	Meholle	Void	3	16		25		25	
2109000	Meuse	Saint-Mihiel	3	19		17	17	17	17
2110000	Meuse	Dompcevrin	3	17			17	17	
2111000	Meuse	Belleray	3	19		17	17	17	
2111500	Scance	Verdun	3	20	20	21	21	21	
2112000	Meuse	Bras-sur-Meuse	3	17		17	17	17	
2113000	Meuse	Sassey-sur-Meuse	3	17		17	17	17	
2114000	Meuse	Inor	3	19		17	17	17	
2114500	Wiseppe	Beauclair	3			19	17	19	
2115000	Meuse	Remilly	3	17		17	17	17	
2115200	Chiers	Longlaville	3	21	21	21	21	21	
2115650	Chiers	Cons-la-Granville	3	21	19	20	20	20	
2115660	Crusnes	Ville-au-Montois	3			16	16	16	
2115675	Pienne	Mercy-le-Bas	3			19	19	19	

RNB	Rivière	Station	HER	2000	2001	2002	2003	2004	2005
2115725	Crusnes	Longuyon	3	19	19	19	19	17	
2115750	Chiers	Charency-Vezin	3	19	19	19	19	19	
2115775	Ton	Ecouviez	3	19	19	19	20	20	
2115790	Othain	Houdelaincourt	3			21	20	20	
2115800	Othain	Othe	3	17	17	17	17	17	
2115825	Chiers	Montmedy	3	19	18	20	19	19	
2115855	Loison	Mangiennes	3			19	19	20	
2115900	Loison	Han-lès-Juvigny	3			19	17	17	
2115950	Marche	Sapogne-sur-Marche	3	19	19	19	19	17	
2116000	Chiers	Carignan	3	18	18	18	18	18	
2117000	Meuse	Donchery	3			17	17	18	
2117400	Vrigne	Vrigne-sur-Meuse	5			19	21	21	
2117575	Bar	Sauville	3			19	18	19	
2117650	Bar	Cheveuges	3			19	19	19	
2118000	Meuse	Lumes	6			17	17	17	
2118200	Vence	La Francheville	3			19	19	19	
2118300	Sormonne	Girondelle	5			19	19	19	
2118350	Audry	Murtin et Bony	5			19	19	19	
2118450	Thin	Saint-Marcel	3			19	19	19	
2118500	Sormonne	Belval	3			19	18	19	
2118750	Goutelle	Nouzonville	5			25	21	18	
2119000	Meuse	Nouzonville	6			18	17	25	
2120000	Semois	Haulme	5			17	17	19	
2121000	Meuse	Laifour	6			18	17	17	
2122200	Alyse	Fumay	5			31	25	30	
2122800	Virouin	Vireux-Molhain	5			19	22	19	
2123000	Meuse	Ham-sur-Meuse	6			17	17	19	
2123500	Houille	Fromelennes	5			25	25	25	
2124000	Meuse	Givet	6			17	17	17	
2004300	Doller	Sewen	1						30
2018780	Petite-Fecht	Stosswihr	1						30
2022650	Riedbrunnen	Colmar	7						16
2025700	Lutter	Huttenheim	7						16
2029160	Ehn	Boersch - Ottrot	1						30
2031650	Netzenbach	Lutzelsehouse	1						30
2042650	Zorn	Dabo	1						28
2045050	Moder	Auenheim	7						20
2045283	Halbmuehlbach	Haguenau	7						18
2045320	Eschengraben	Betschdorf	7						20
2049250	R. des Vinterges	Ventron	1						28
2049700	Menaurupt	Sapois	1						29
2055100	Moselle	Bainville-aux-Miroirs (ref)	3						27
2055200	R. du Pré aux Bois	Chamagne	3						19
2061250	Meurthe	Valtin amont	1						31
2061300	Meurthe	Valtin (l'Hermitage)	1						30
2065090	Plaine	Raon-sur-Plaine	1						30
2067050	Meurthe	Azerailles référence	3						27
2067150	Meurthe	Saint-Clément	3						27
2094970	Sarre-Blanche	Turquestein-Blancrupt	1						30
2094978	Sarre-Rouge	Saint-Quirin	1						28
2107250	Meuse	Taillancourt	3						19

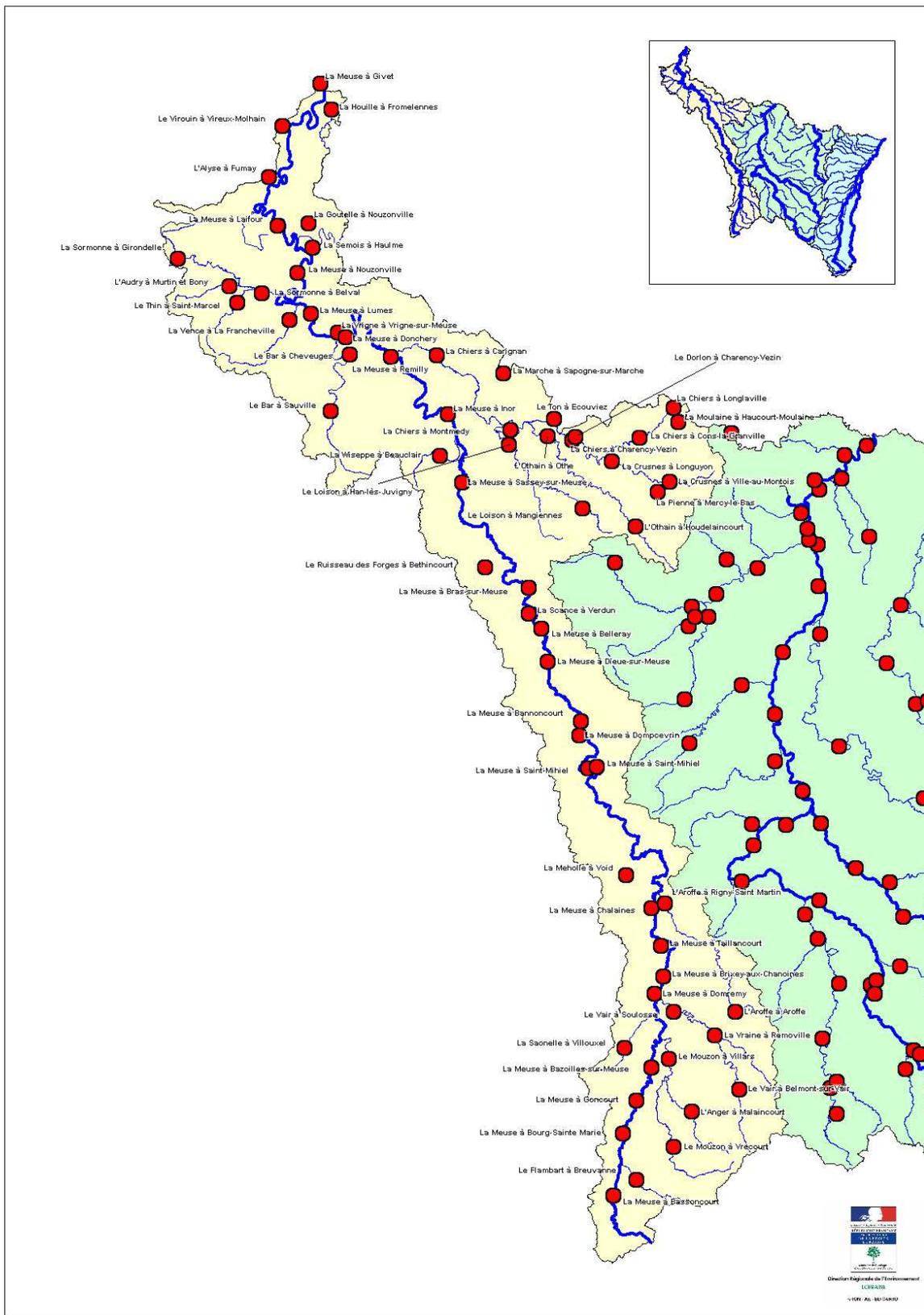
RNB	Rivière	Station	HER	2000	2001	2002	2003	2004	2005
2109000	Meuse	Saint-Mihiel	3	19		17	17		17
2110100	Meuse	Bannoncourt	3						17
2110600	Meuse	Dieue-sur-Meuse	3						17
2112150	R. des Forges	Bethincourt	3						16
2115762	Dorlon	Charency-Vezin	3						19

Annexe 4 : Glossaire

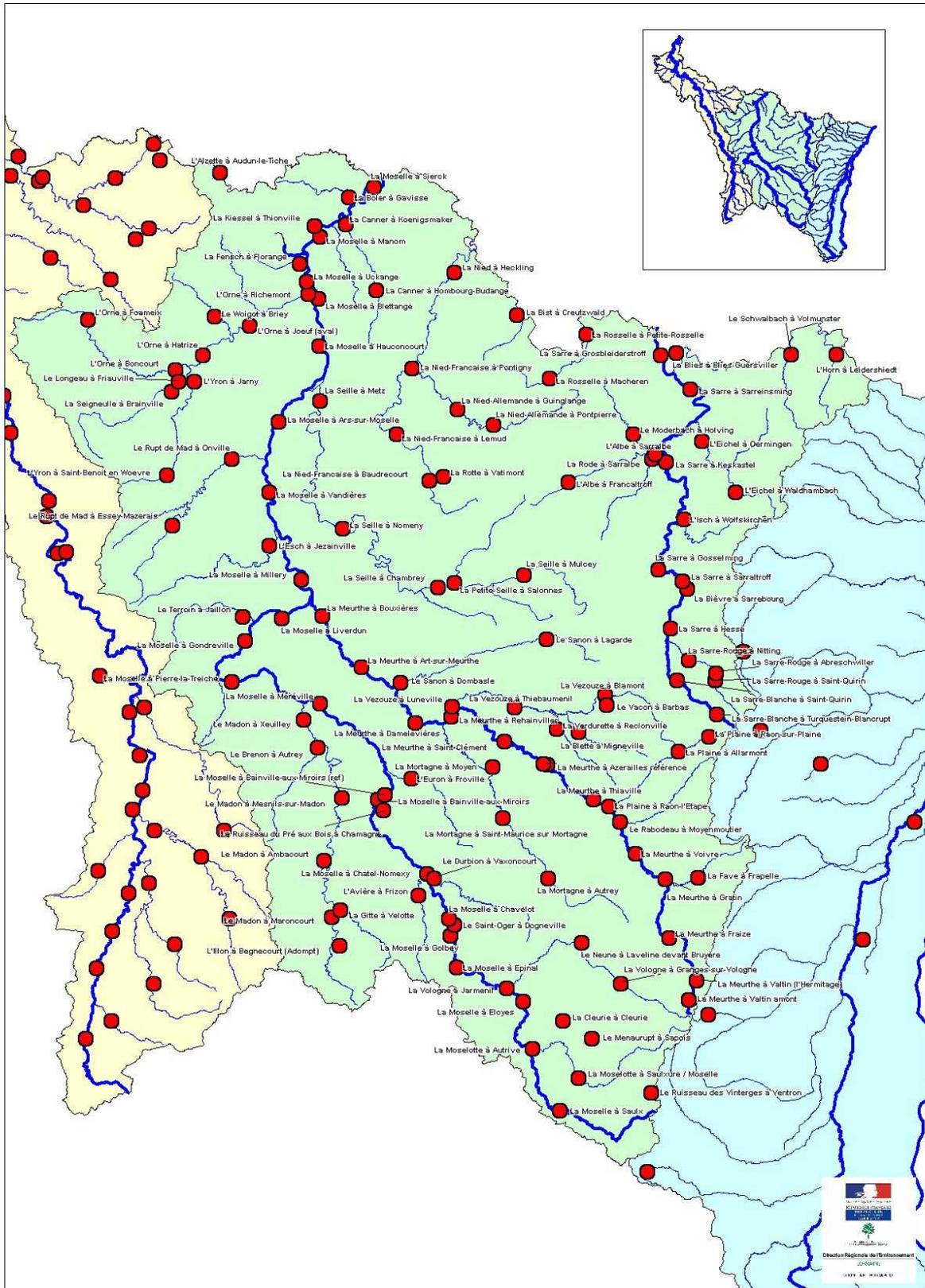
- Analyse des espèces indicatrices : dans des groupes de stations caractérisés par des communautés de diatomées, cette analyse permet de détecter les espèces qui caractérisent chacun de ces groupes, il s'agit des espèces indicatrices. Cette méthode combine l'abondance du taxon dans un groupe et sa fidélité dans le groupe. Un test de Monte-Carlo est associé à cette analyse afin de tester la signification des espèces indicatrices. Cette méthode a été développée par Dufrêne & Legendre (1997).
- HER : Hydro-EcoRégions, écorégions adaptés aux cours d'eau en France, définies dans Wasson et al. (2001), et reprises dans la circulaire du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable (Circulaire DCE 2005/11 du 29 avril 2005).
- IBD : Indice Biologique Diatomées. Indice diatomique normalisé (AFNOR 2000), et développé par Lenoire et Coste (1996)
- IPS : Indice de Polluosensibilité Spécifique. Indice diatomique développé par Coste (Cemagref 1982).
- MRPP : Multi-Response Permutation Procedures. Une MRPP est une procédure non paramétrique qui permet de tester l'hypothèse de la non différence entre deux ou plusieurs groupes, ici composées de communautés de diatomées. La statistique A est un descripteur calculé dans l'analyse MRPP. Ce descripteur évalue l'homogénéité inter-groupes, comparée à ce qui est attendu aléatoirement :
 - si la statistique A est élevée et proche de 1, les groupes sont très différents, et dans notre cas, les groupes seront composés de communautés de diatomées très différentes. Donc la classification a une forte signification pour les diatomées.
 - si la statistique A est proche de 0, les groupes sont peu différents, et dans notre cas, les groupes seront composés de communautés de diatomées proches. Donc la classification a une signification faible pour les diatomées.Cette statistique A a été utilisé pour évaluer la signification des classifications
- Test de Monte-Carlo : il s'agit d'un test de randomisation. Il vise à comparer la situation observée à un grand nombre de situations générées aléatoirement.
- Twinspan : Two Ways Indicator Species Analysis (Hill, 1979), analyse de groupement, permettant de définir des groupes de stations constitués de communautés de diatomées homogènes. Cette méthode est basée sur la division de l'espace d'ordination d'une analyse factorielle des correspondances. Dans notre cas les niveaux de coupures choisis pour l'analyse sont les suivants : 2%, 5%, 10%, 20%.

Annexe 5 : Carte de localisation des stations

Bassin versant de la Meuse



Bassins versants de la Moselle et de la Sarre



Bassin versant de l'Alsace

