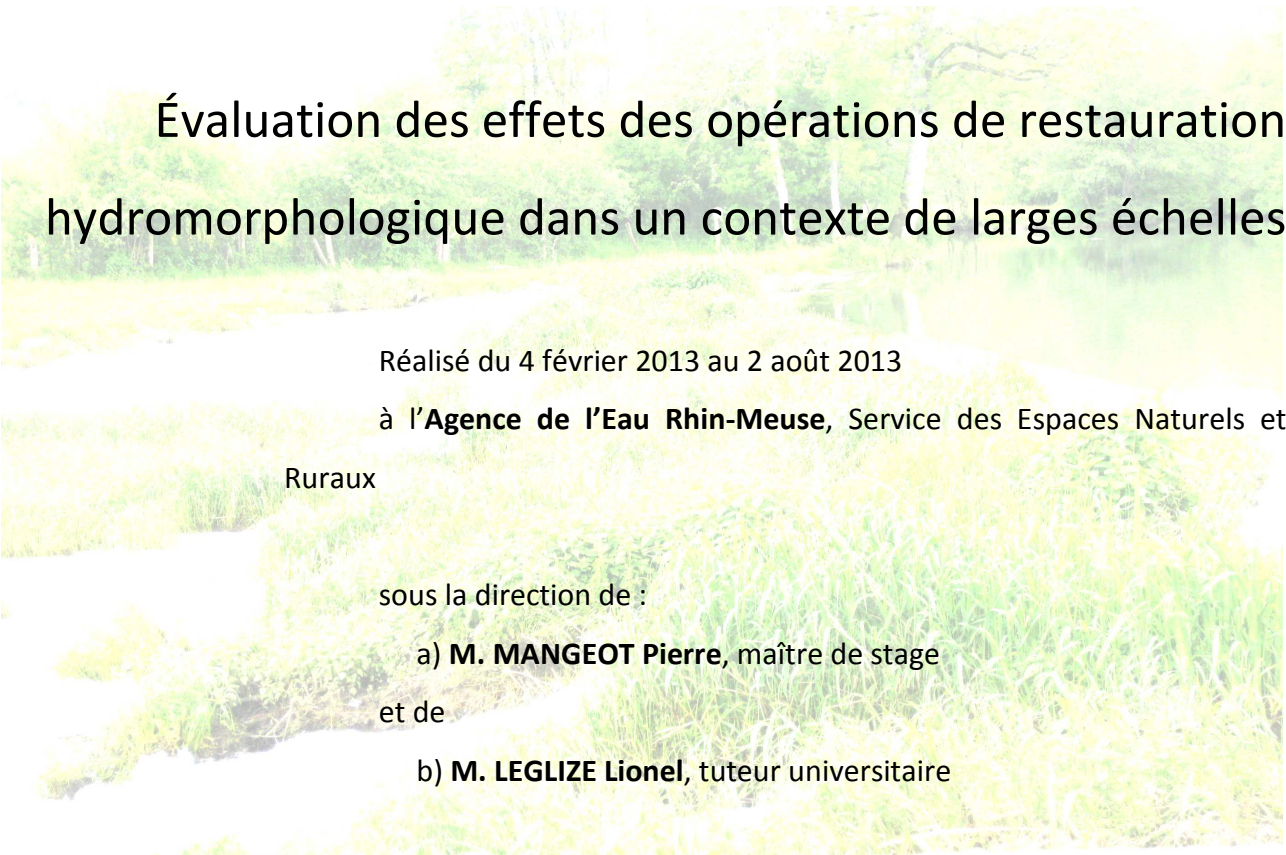


RICOCHON Clémence

Année 2012-2013

Rapport de stage Master Environnement et Aménagement

GESMARE 2^{ème} année – Parcours Hydrobiologie



Évaluation des effets des opérations de restauration hydromorphologique dans un contexte de larges échelles

Réalisé du 4 février 2013 au 2 août 2013

à l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse, Service des Espaces Naturels et
Ruraux

sous la direction de :

a) **M. MANGEOT Pierre**, maître de stage

et de

b) **M. LEGLIZE Lionel**, tuteur universitaire

Mémoire soutenu le 10 septembre 2013 devant le jury composé de Lionel LEGLIZE (tuteur universitaire), Pierre MANGEOT (maître de stage) et Gérard MASSON (responsable du parcours Hydrobiologie).



Université Paul Verlaine – Metz
Île du Saulcy – BP 80794
57012 Metz cedex 01

téléphone 33 (0)3 87 31 50 01
télécopie 33 (0)3 87 31 50 02
www.univ-metz.fr

Déclaration sur l'honneur contre le plagiat

(à joindre obligatoirement à tout travail de recherche ou dossier remis à un enseignant)

Je soussigné(e),

Nom, Prénom,

Régulièrement inscrit à l'Université Paul Verlaine-Metz,

N° de carte d'étudiant :

Année universitaire :

Niveau d'études : L ou M

Parcours :

N° UE :

Certifie qu'il s'agit d'un travail original et que toutes les sources utilisées ont été indiquées dans leur totalité. Je certifie, de surcroît, que je n'ai ni recopié ni utilisé des idées ou des formulations tirées d'un ouvrage, article ou mémoire, en version imprimée ou électronique, sans mentionner précisément leur origine et que les citations intégrales sont signalées entre guillemets.

Conformément à la loi, le non-respect de ces dispositions me rend passible de poursuites devant la commission disciplinaire et les tribunaux de la République Française.

Fait à Metz, le.....

Signature :

Remerciements

« Stagiaire à durée indéterminée », c'est un peu comme cela que l'on m'a qualifiée, en revenant cette année à l'Agence de l'Eau. C'est en effet 11 mois de stage que j'ai passés à l'AERM où j'ai côtoyé des agents, hommes, femmes, personnalités, tous œuvrant à leur façon à la préservation des milieux aquatiques. Où j'ai partagé avec eux les difficultés, les déceptions, mais aussi les petites victoires qui font que l'on se bat encore et toujours pour la diversité, où qu'elle soit, quelle que soit la forme qu'elle prend.

C'est ici que je me dois de remercier, en espérant n'omettre personne, toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'achèvement d'un cycle, celui des études universitaires, et à l'émergence d'une aspirante hydrobiologiste !

Je tiens d'abord ici à adresser mes plus vifs remerciements à **Pierre Mangeot** mon maître de stage, dont la confiance et les conseils m'ont portée tout au long de ces six mois. Partager ce bureau ensemble (ce frigo, cette étuve !) m'a tirée plus d'une fois de la noyade face à ce sujet ! Merci pour l'expérience que tu as dispensée sans ménagement.

Je remercie ensuite **Lionel Léglize**, tuteur universitaire attentif aux stagiaires dont il a la charge, et qui a su depuis le début de la formation du master partager à la fois sa passion et ses compétences avec ses élèves. Il nous a accompagnés de la meilleure façon qui soit, du début à la fin de ce master. La formation GesMARE lui doit énormément.

Merci également à **Marie Lemoine** et **Soraya Hani** du SENR qui m'ont accueillie comme l'une des leurs dans ce petit service. Je n'oublierai pas votre énergie et votre implication pour la reconquête des milieux, vos billets d'humeur, vos conversations passionnées, vos conseils irremplaçables. Une attention particulière s'impose pour **Philippe Goetghebeur**, qui m'a fait confiance et m'a offert l'opportunité de continuer, pour quelques mois supplémentaires, à travailler à l'Agence de l'Eau. Sincèrement, merci.

L'aboutissement de ce stage aurait été très difficile sans l'aide des chargés d'interventions de l'Agence. Je vous suis absolument reconnaissante de m'avoir apporté votre regard à la fois affectueux et critique sur vos missions, vos actions, votre territoire. Merci particulièrement à **Audrey Renauld** et **Philippe Russo** de m'avoir emmenée sur le terrain, à la rencontre des élus et des techniciens de rivière qui tentent d'impulser des réelles dynamiques de restauration des milieux. Merci, et bravo de ne rien lâcher après ces vingt années d'efforts permanents.

Aussi, merci à **Yann Vincent** et **Vincent Moitrier** du Conseil Général du Bas-Rhin (antenne d'Haguenau) et à **Monsieur Bottazzini**, président du Syndicat Intercommunal d'Aménagement Hydraulique de la Meuse de m'avoir accueillie sur le terrain, chez eux.

Je tiens également à m'excuser auprès du DPEM : pour les avoir harcelé de coups de fil, de réunions et de questionnements en tous genres, pour avoir pillé les bases de données, pour avoir dévalisé thé et café. C'est surtout parce qu'ils m'ont répondu, accueillie, fourni, abreuvée avec le sourire, une bonne humeur permanente et une réactivité hors pair que je leur en suis infiniment reconnaissante. En particulier à **Guillaume Demortier**, pour m'avoir impliquée dans la vie du service et de groupes thématiques ; **Jean-Michel Bresson**, pour sa franchise, ses cultures générale et scientifique incomparables, ses anecdotes. Excuse-moi d'avoir cassé les bases de données !

Je dédie un « merci » spécifique à **Pierre-Olivier Lausecker** pour le temps qu'il a consacré à s'occuper de mon sujet. Pour avoir facilité les échanges de données. Pour m'avoir fourni une bibliographie indispensable. Pour m'avoir écoutée, épaulée, et pour avoir rigolé sur l'esthétique de mes ACP. N'oublie pas de prendre du temps pour te reposer !

Je n'oublie pas **Magali Marchetto** (et son outil magique de tendances en eaux souterraines !), **François Venambre** (monsieur SIG !), **Nicolas Villeroy** (Monsieur SIG bis !), **Olivier Brullard** (monsieur SQL !), **Guillaume Monaco** (monsieur RGA !), **Mathieu Recchia** (Monsieur SOS informatique !), **Stéphanie Muller** de l'Agence, **Jean-Luc Matte** de la DREAL Lorraine (et sa macro Excel improbable mais ô combien utile), **Evelyne Arce**, **Simon Devin** (et ses précieux conseils en statistiques... j'en reste admirative), **Nathalie Kleinen** (à la bonne humeur communicative, même par mail !) et à toute l'équipe pédagogique de l'Université de Lorraine.

Une pensée particulière à ceux qui, bien qu'étrangers à mon domaine d'étude, ont permis à ce que je ne sombre pas face à aux difficultés : ma famille, les amis musiciens (de Sligo, des Alérions, du Naheulband et des sessions de musique traditionnelle irlandaise), les amis stagiaires partis (trop) loin de Metz (Orianne, Pierre, Quentin) et surtout, surtout, Thomas. Merci à vous !

Sommaire

Remerciements	i
Sommaire	iii
Résumé	v
Liste des tableaux	vi
Liste des figures	vi
Liste des annexes	vii
Sigles et abréviations	viii
Présentation de la structure d'accueil	ix
Avant-propos	xi
Introduction	1
I. Synthèse bibliographique	2
I.1 Le milieu physique et l'hydromorphologie.....	2
I.1.1 Notions d'hydromorphologie	2
I.1.1.1 A l'origine de la morphologie : les variables de contrôle	2
I.1.1.2 Les ajustements du cours d'eau : les variables de réponse	3
I.1.2 Altérations de l'hydromorphologie	3
I.1.2.1 Les activités humaines : des pressions sur la morphologie.....	3
I.1.2.2 Impact des altérations morphologiques sur les communautés	4
I.2 Restauration de l'hydromorphologie	4
I.2.1 Historique et définitions	5
I.2.2 En pratique	6
I.3 Évaluation des effets sur les milieux	8
I.3.1 Évaluation des opérations de restaurations	8
I.3.2 Effets des autres forces motrices	9
II. Méthodologie	12
II.1 Choix préalables et critères requis	12
II.1.1 Échelle spatiale	13
II.1.2 Échelle temporelle.....	14
II.1.3 Données et traitements primaires	16
II.1.3.1 Les forces motrices	16
II.1.3.2 Les variables-cibles	18
II.2 Choix des zones test	21
II.2.1 Critères de sélection	21
II.2.2 Choix des zones test.....	22

II.3	Cadre des analyses de données	24
II.3.1	Caractérisation de l'histoire des pressions et interventions sur le bassin	24
II.3.2	Caractérisation des données « témoins ».....	26
II.3.3	Recherche de tendances dans l'évolution de la qualité des milieux	27
III.	Résultats.....	29
III.1	Bassin de l'Yron.....	29
III.2	Bassin de la Meuse amont	30
III.2.1	Choix du bassin « Interm ».....	30
III.2.2	Frise contextuelle	31
III.2.3	Résultat des analyses	33
III.2.3.1	Indicateurs biologiques.....	33
III.2.3.2	Listes faunistiques	35
III.2.3.3	Physico-chimie	36
III.3	Bassin de la Vezouze amont et médiane.....	38
III.3.1	Choix du bassin « Blanc »	38
III.3.2	Frise contextuelle	40
III.3.3	Indicateurs biologiques.....	41
IV.	Discussion.....	41
IV.1.1	Des premiers enseignements sur les effets de la restauration	41
IV.1.2	Les freins et limites de l'exercice	44
IV.1.3	Perspectives.....	45
	Conclusion.....	46
	Bibliographie.....	48
	Annexes	51
	Glossaire.....	85

Résumé

L'Agence de l'Eau Rhin-Meuse participe depuis 1992 à la restauration physique des milieux aquatiques. L'hydromorphologie est en effet identifiée comme étant un levier à l'atteinte des objectifs environnementaux définis par la Directive Cadre Européenne sur l'Eau.

L'évaluation des effets des interventions sur l'hydromorphologie appliquée dans cette étude se place dans un contexte de larges échelles : elle s'intéresse au(x) bassin(s) versant de masse(s) d'eau en intégrant la prise en compte de cumul d'actions depuis le début des interventions en 1992. L'évaluation porte sur deux compartiments biologiques (macroinvertébrés et ichtyofaune) liés à l'hydromorphologie par la notion d'habitat et sur le compartiment physico-chimique. Les forces motrices influençant les milieux aquatiques sont intégrées par l'intermédiaire d'une analyse descriptive.

La mise en œuvre d'analyses de tendances sur les données relatives à la Meuse amont, et dans une moindre mesure à la Vezouze amont et médiane, deux bassins contrastés, a permis de mettre en évidence une amélioration de la qualité biologique, physico-chimique et les liens avec le contexte hydromorphologique (arrêt des dégradations, gestion sélective de la végétation, restauration classique, dynamisme du cours d'eau).

Mots-clés : tendances ; chroniques ; communautés aquatiques ; bassin versant

Abstract

The Rhine-Meuse basin water agency has been involved in the physical restoration of aquatic systems since 1992. The EU Water Framework Directive identifies geomorphology as a lever to reach the environmental objectives.

Geomorphological restoration effects are assessed with a "large scales" approach: we examine water body catchment basins from the beginning of the restoration effort in 1992, encompassing all undertakings. The assessment is focused on two different biological communities (macroinvertebrates and fishes), linked to geomorphology by the concept of habitat and by water quality variables. Other driving forces affecting aquatic systems are included in this study through a descriptive analysis.

Trend analyses are used on the upstream of Meuse river and, to a lesser extent, upstream and middle course of Vezouze river, two contrasted watershed. Connections are highlighted between the improvement of the biological quality and geomorphological situation (end of degradation, flora management, mainstream restoration, and stream dynamics).

Keywords: trends; chronicles; aquatic communities; catchment

Liste des tableaux

Tableau I : Chronique d'utilisation des indices biologiques dans le bassin Rhin-Meuse.....	15
Tableau II : Métriques de composition taxonomique	20
Tableau III : Valeurs-seuil pour la sélection de bassin par catégorie.....	23
Tableau IV : Masses d'eau et stations de la zone INTERM-MEUSE.	30
Tableau V : Occupation du sol selon le niveau 2 de Corine Land Cover (en %) de la zone-test Meuse-amont.....	33
Tableau VI : Résultats des tests significatifs au seuil $\alpha = 0,05$ pour les métriques biologiques sur la Meuse.....	34
Tableau VII : Tendances significatives au seuil $\alpha = 0,05$ des paramètres physico-chimiques sur la Meuse.....	36
Tableau VIII : Stations de la zone BLANC-VEZOUZE.	39
Tableau IX: Résultats des tests significatifs au seuil $\alpha = 0,05$ pour les métriques biologiques sur la Vezouze.....	41

Liste des figures

Figure 1 : Équilibre de la dynamique fluviale (Souchon & Chandesris, 2008, d'après Lane, 1955).....	3
Figure 2 : Schéma conceptuel de causalité – pression/impact (d'après Chandesris et al., 2008)	3
Figure 3 : Le Petit Vair à Vittel (88) entièrement bétonné (Photo : T. Jacquin, AERM)	5
Figure 4 : Contexte juridique lié aux milieux aquatiques et à l'hydromorphologie	7
Figure 5 : Exemples de suivi local et de suivi global (d'après Malavoi et Souchon, 2010)	13
Figure 6 : Pourcentage d'opérations par type de restauration sur le bassin (hormis la catégorie ABERZH)	16
Figure 7 : Facteurs déterminant la présence des invertébrés benthiques dans les cours d'eau (modifié d'après Caquet, 2012).....	18
Figure 8 : Filtres de sélection d'une zone-test.....	22
Figure 9 : Chronologie des pressions et leviers liés à l'assainissement des collectivités en France	25
Figure 10 : Chronologie des leviers pour l'agriculture en France.....	25
Figure 11 : Schéma de caractérisation des données brutes (Lopez et al., 2011)	26
Figure 12 : Arbre de décision des procédures statistiques selon la structure des données (Lopez et al., 2011).....	28
Figure 13 : Masses d'eau et stations sélectionnées sur le bassin Haute-Meuse.....	31
Figure 14 : Frise des données contextuelles du bassin de la Meuse amont (sources : AERM, CLC, RGA).....	32
Figure 15 : Tendances d'évolution de l'indice "continu" invertébrés sur la Meuse à Bassoncourt.....	33
Figure 16 : Tendances d'évolution de l'indice "continu" invertébrés sur la Meuse à Goncourt	34
Figure 17 : Données de pêche de la Meuse à Bassoncourt.....	35
Figure 18: Classement des individus par ACP avant et après changement de moyenne (2001) sur la Meuse à Bassoncourt	37
Figure 19 : Classement des individus par ACP avant et après changement de moyenne (2006) sur la Meuse à Goncourt	38
Figure 20 : Les masses d'eau et stations sélectionnées sur le bassin Vezouze-Sânon.....	39
Figure 21 : Frise contextuelle du bassin de la Vezouze amont (sources : AERM, CLC, RGA).....	40

Liste des annexes

<i>Annexe 1 – Synthèse des définitions associées à la thématique « restauration »</i>	52
<i>Annexe 2 : Indices biologiques bancarisés à l'Agence de l'Eau et utilisés dans l'étude</i>	54
<i>Annexe 3 : Typologie des actions de restauration hydromorphologique</i>	55
<i>Annexe 4 : Liste des variables intégrées à l'étude</i>	56
<i>Annexe 5 : Principes des tests statistiques mis en œuvre</i>	57
<i>Annexe 6 : Chroniques, tendances et ruptures de pentes identifiées sur les indices relatifs à la biologie</i>	60
<i>Annexe 7 : Résultats des tests de tendances et de changement de moyennes sur la physico-chimie</i>	76
<i>Annexe 8 : Résultats des ACP</i>	79

Sigles et abréviations

ABERZH : Aide au bon entretien des rivières et des zones humides

ACP : Analyse en composantes principales

AERM : Agence de l'Eau Rhin-Meuse

ANC : Assainissement non collectif

BV : Bassin Versant

CLC : Corine Land Cover

DCE : Directive Cadre sur l'Eau

DPEM : Département Planification Études Milieu

DT : Directions Territoriales

EH : Équivalent-Habitant

ERU : Directive Eaux Résiduaires Urbaines

GFI : Groupe faunistique indicateur

GVDE : Groupe de Valorisation des Données sur l'Eau

IBGN : Indice Biologique Global Normalisé

IPR : Indice Poissons Rivière

MES : Matières en suspension

ONEMA : Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques

PAC : Politique Agricole Commune

PDM : Programme de Mesures

PLS : Partial Least Squares

QUALPHY : Qualité physique des milieux.

RCS : Réseau de contrôle de surveillance

RESALTT : Réseau de Suivi et d'Analyse Long Terme des tendances de la qualité des cours d'eau du bassin Rhin-Meuse

RGA : Recensement général agricole

SAGE : Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux

SAU : Surface Agricole Utile

SDAGE: Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux

SEN : Service des Espaces Naturels et Ruraux

STEP : Station d'épuration

STH : Surface toujours en herbe

Présentation de la structure d'accueil

L'Agence de l'Eau Rhin-Meuse

Les Agences de l'eau ont été créées suite à la loi sur l'eau de 1964. Initialement Agences de bassin, elles ont pour mission principale d'aider financièrement et techniquement les opérations d'intérêt général au service de l'eau et de l'environnement grâce aux redevances perçues annuellement.

L'Agence de l'Eau Rhin-Meuse (AERM) est un établissement public d'état sous la tutelle du ministère chargé du développement durable.

Elle applique les politiques nationales et européennes de l'eau au sein d'un territoire composé de deux districts hydrographiques (le district Rhin et le district Meuse) répartis sur 8 départements.



Elle met en œuvre une politique qui vise à une gestion équilibrée et une protection de la ressource en eau grâce à :

- un soutien financier et technique d'actions au service de la gestion de l'eau
- l'élaboration d'outils de planification conformes aux directives nationales et européennes
- la connaissance et la surveillance des cours d'eau, plans d'eau et nappes d'eau souterraine.

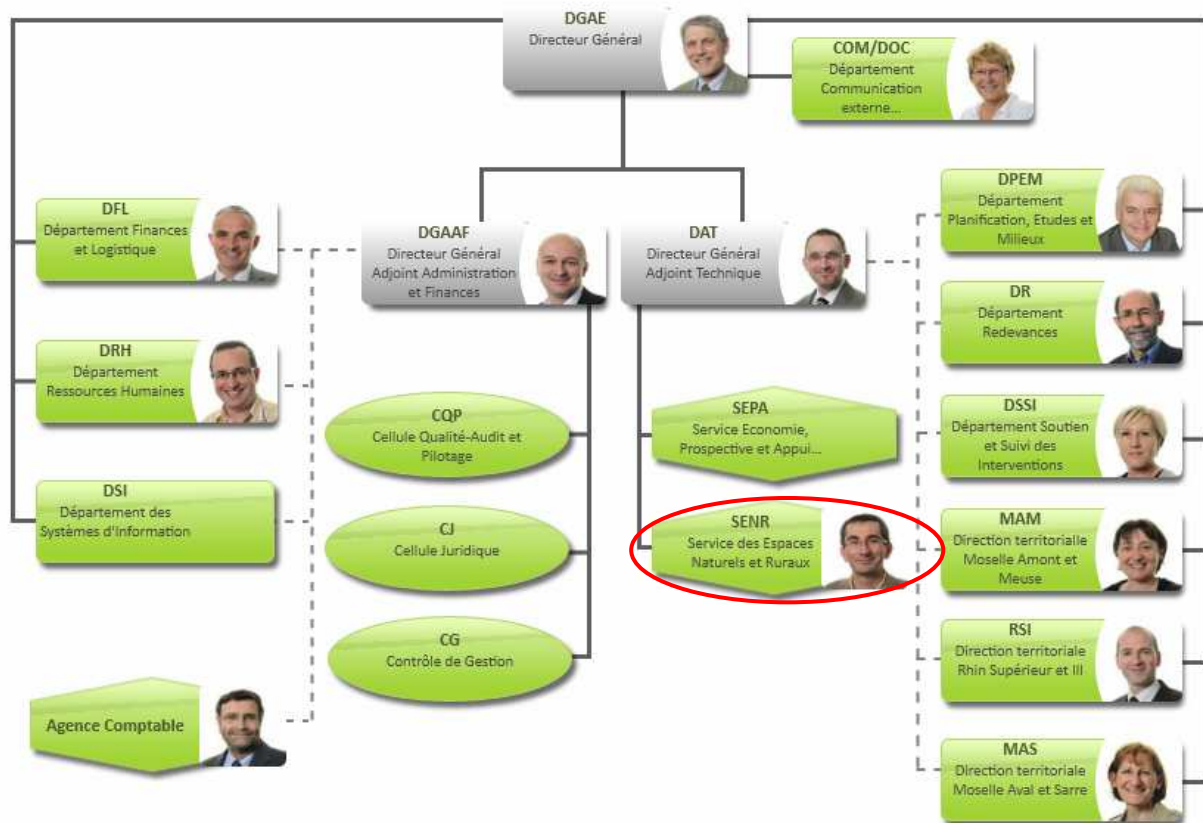
Les priorités de l'Agence de l'eau sont définies par un programme d'interventions : le Xe programme court pour les années 2013 à 2018 et conjugue les différentes politiques de l'eau définies aux niveaux européen, national et du bassin (Directive Cadre sur l'Eau, Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE), lois Grenelle, Directive Inondations, ...).

Le Bassin Rhin-Meuse

Le bassin Rhin-Meuse comporte 3240 communes pour une superficie totale de 31400 km² et un réseau hydrographique d'environ 30000 km. La particularité de ce bassin réside dans le fait de regrouper deux districts hydrographiques internationaux, le district Meuse (France, Belgique, Pays-Bas) et le district Rhin (Suisse, Autriche, France, Allemagne, Pays-Bas, Liechtenstein, Luxembourg, Italie et Belgique) qui inclut la Moselle et la Sarre.

Le Service des Espaces Naturels et Ruraux

Le Service des Espaces Naturels et Ruraux (SENR) est un service **d'appui technique** aux directions territoriales. Il propose un soutien technique aux chargés d'affaires spécialisés dans les interventions sur le milieu dans le but de répondre aux objectifs et priorités fixés dans les différents documents de planification.



Ses domaines d'actions concernent les milieux naturels (cours d'eau et zones humides, ouvrages et continuité longitudinale), l'agriculture au travers d'actions pour la lutte contre les pollutions diffuses et l'aide à l'émergence des schémas d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE), en lien direct avec les priorités d'intervention affichées du Xe programme (graphique ci-contre).

En lien permanent avec les Directions Territoriales, le SENR assure une veille bibliographique, technique et un suivi des actions par la mise en place de bilans et de retours d'expériences.

Le service établit également, en lien avec divers groupes nationaux (Hydromorphologie, suivi des opérations de restauration, ...) et locaux (Commission Agricole de Bassin, Commission des Milieux Naturels, ...) les règles de subvention et les priorités d'interventions dans les domaines qui le concernent.

Avant-propos

Le travail initié durant ce stage à l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse s'est inscrit, bien avant le début « officiel » du travail, dans le Groupe de Valorisation des Données sur l'Eau (GVDE) sous la forme initialement d'une ligne dans les différents projets prévus pour l'année 2013.

Le GVDE, animé par Pierre-Olivier Lausecker, a pour ambition de valoriser les données disponibles à l'Agence (en interne et en externe) en lien avec les priorités de l'établissement en assurant un suivi des projets proposés. L'objectif est ainsi de coordonner la diffusion et l'échange d'information au sein des différents services et des prestataires externes pour permettre une communication efficace autour des nombreuses études mises en place à l'Agence.

Ma contribution, en tant que stagiaire, à un tel travail a nécessité un mode de fonctionnement et d'organisation qui puisse s'intégrer à ce groupe d'une part, et qui borne d'autre part un sujet novateur : le mode « **projet** ».

Le projet (ici, le stage à part entière) a pour ambition de répondre à un besoin identifié à l'Agence et particulièrement au SENR, qui est d'évaluer l'efficacité des opérations « hydromorphologiques » mises en œuvre sur les milieux aquatiques depuis 20 ans.

Le mode projet a principalement consisté dans un premier temps en l'identification des besoins (matériels, humains...) puis dans un second temps à la planification des éléments de suivi : constitution d'un groupe de travail, animation régulière par des réunions, rétroplanning des tâches et rendus.

La fiche de projet rédigée dans la première semaine du stage et validée par Pierre Mangeot et Pierre-Olivier Lausecker a permis d'en tracer les contours, de borner le sujet, d'identifier les cibles potentielles et les personnes « ressource » tout en fixant les objectifs de production et de communication dans un délai de six mois.

Cette fiche est disponible ci-après.

Lorsqu'il est jugé nécessaire d'apporter des informations supplémentaires dans ce rapport sur le travail en mode « projet », des apartés sont intégrés en début de chapitre ou dans le corps du texte.

Références du projet (interne)	Département - Service	Date de lancement du projet
	Service des Espaces Naturels et Ruraux	Début du stage : 04/02/2013

1- PRESENTATION DU PROJET

Titre du projet	Évaluation des effets des actions de restauration des cours d'eau et des zones humides à l'échelle de bassins versants.
Contexte du projet	<p>La préservation et la restauration des cours d'eau et zones humides sont le plus souvent une condition indispensable à un équilibre au sein de l'écosystème, participant aux objectifs de « Bon état » requis par la Directive Cadre sur l'Eau.</p> <p>Depuis les années 1990, l'Agence de l'Eau soutient des programmes de restaurations visant des actions telles que l'entretien et la gestion de la végétation, des embâcles, mais également des actions plus ambitieuses de restauration de berges et de lit mineur par des techniques végétales ou encore, plus récemment, une modification de la structure physique du cours d'eau pour retrouver un état plus proche de la dynamique « naturelle » du cours d'eau (reméandrage, effacement d'ouvrages, recréation de zones humides, ...).</p> <p>Le travail d'analyse de l'efficacité de ces opérations constitue un élément essentiel afin d'évaluer leur contribution à l'atteinte des objectifs environnementaux fixés mais également afin d'examiner de manière critique les réussites et échecs dans un souci d'amélioration des pratiques en la matière.</p> <p>Ce projet s'inscrit par ailleurs dans le cadre de la réalisation d'un stage en partenariat avec l'Université de Lorraine.</p>
Cibles	<ul style="list-style-type: none"> • Service des Espaces Naturels et Ruraux / Département Planification Études Milieu - DPEM (court et moyen terme) <ul style="list-style-type: none"> - Base de réflexion pour engager des analyses plus détaillées sur les données disponibles afin de lier les interventions et les évolutions du milieu (prestations, partenariats Universités) <ul style="list-style-type: none"> - Évaluation de la contribution des actions de restauration et de renaturation à l'atteinte des objectifs de « Bon état » - Aide à l'orientation des interventions (selon efficacité) <ul style="list-style-type: none"> • Chargés d'affaires (court terme) <ul style="list-style-type: none"> - Support pour convaincre les maîtres d'ouvrage sur la mise en œuvre d'opérations sur l'hydromorphologie et sur les zones humides et de leur intégration dans une démarche de préservation/reconquête de qualité des milieux. - Aide à l'orientation des interventions (selon efficacité) <ul style="list-style-type: none"> • Maîtres d'ouvrages (long terme) - Mise en évidence des résultats et bénéfices induits par l'engagement de moyens (humains, financiers) dans une politique de restauration des milieux

<p>Résultats attendus</p>	<p>* Une méthodologie opérationnelle permettant d'évaluer, au moyen des données disponibles à l'Agence, les effets (biologiques, physico-chimiques, hydromorphologiques, ...) des actions de restauration à l'échelle d'un bassin. Cette notion de bassin est couplée à une dimension d'histoire d'interventions (de restauration morphologique mais aussi associées à d'autres domaines tels que la dépollution ou l'activité agricole). Une part importante de ce travail sera donc axée sur la définition des échelles spatiales et temporelles à considérer pour mener des analyses cohérentes visant la mise évidence des effets sur le milieu.</p> <p>La méthodologie s'appuiera sur une recherche bibliographique en deux temps :</p> <ul style="list-style-type: none"> - en premier lieu sur le sujet de l'évaluation en lui-même, c'est-à-dire le lien entre la structure physique (morphologique) d'un cours d'eau et/ou des zones humides associées et la qualité du milieu (qualité de l'eau, diversité biologique, fonctionnalité de l'écosystème), - en second lieu sur les méthodes d'évaluation : échelle spatiale, échelle temporelle, indices biologiques, traits écologiques de groupes taxonomiques, analyses statistiques, ... <p>La méthodologie sera appliquée sur des zones-test qui seront choisies en parallèle de l'élaboration de la méthodologie (selon les effets à mettre en évidence, les données disponibles, ...).</p> <p>* Des premiers résultats d'évaluation des effets (tendances) issus de l'application de la méthodologie sur des zones tests. Ces 1ers résultats doivent permettre d'orienter les futures démarches de l'Agence en la matière (données à rechercher en priorité, déploiement sur le bassin,...)</p>
<p>Délais</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mi-mars 2013 : Réalisation de la bibliographie nécessaire à la bonne compréhension du sujet et à la mise en place de la méthodologie à appliquer. - Fin avril 2013 : Validation de la note méthodologique pour application. - Fin juin 2013 : Production de résultats après exploitation des données - Fin juillet 2013 : Rendu finalisé (synthèse des résultats, analyses, conclusions et perspectives).
<p>Travaux ou études déjà réalisés et résultats</p> <p>- références</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Aucune démarche lancée par l'Agence à ce sujet (hors retours d'expériences qualitatifs ou suivis locaux d'opérations de restauration) ➤ Tableau Excel de références bibliographiques (mis à jour quotidiennement)

2- DÉFINITION DES OBJECTIFS

Objectifs de qualité

<p>Produits et livrables du projet</p> <p>A différencier par types de clients</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Une note méthodologique opérationnelle sur l'évaluation des effets des opérations de restauration/renaturation sur la qualité globale du milieu et leur contribution à l'atteinte des objectifs de « bon état » en complément des autres mesures d'intervention sur le milieu du type dépollution (Utilisation AERM) ➤ Un document final reprenant les grandes phases du projet : <ul style="list-style-type: none"> - Une synthèse de la bibliographie ; - La méthodologie employée et les choix opérés sur les zones-test à étudier ; - Les résultats obtenus en application de la méthodologie choisie ; - Une analyse et critique de la méthode et des résultats obtenus sur les zones-test ; - Les conclusions et perspectives à envisager à court et moyen termes. <p>Le contenu sera essentiellement repris des différents documents d'étapes (fiches de synthèses bibliographiques thématiques, note méthodologique, outils de calculs et valorisation des données). (Utilisation AERM/Université)</p> ➤ Une présentation Powerpoint présentant les différentes étapes du projet et les conclusions de chaque phase. (Utilisation AERM/Université)
<p>Fonctions en relation avec les utilisateurs</p> <p>Répondre aux besoins des utilisateurs – se poser la question de l'usage</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Les documents d'étapes seront conçus pour usage informatique prioritaire (liens possibles vers les ressources à utiliser) et consultables en interne. - Le document final sera conçu pour un usage prioritaire sur support papier (6 exemplaires). Prévoir aussi une version imprimable et téléchargeable (type PDF) à remettre au service Communication/Documentation (COM/DOC) ainsi qu'au service de documentation de l'Université de Lorraine. - Une présentation Powerpoint destinée aux 2 utilisateurs : Agence et Université (charte graphique Agence avec les deux logos)

Objectifs de communication

<p>En interne, en externe</p> <ul style="list-style-type: none"> - commanditaires - utilisateurs - acteurs 	<ul style="list-style-type: none"> - SENR et DPEM (court terme) - Acteurs internes (Directions Territoriales) : collaboration technique → retours à assurer (court et moyen termes) - Acteurs externes (Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques - Direction Interrégionale Nord-est, Université, maîtres d'ouvrage,...) : présentation du projet et des premiers résultats (long terme) - Relai à faire auprès de l'Université (tuteur pédagogique)
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

3- ORGANISATION

Activités à réaliser

<p>Lister les grandes étapes à planifier</p> <ul style="list-style-type: none"> - Production - Communication 	<i>Phase</i>	<i>Étape</i>	<i>Rendus (en rouge : objectifs)</i>
	Approche méthodologique	0 – Préparation du projet	Fiche de présentation sommaire (contexte, objectifs) pour acteurs externes
		1 – Synthèse bibliographique	Fiches thématiques
		2 – Cadre méthodologique global : échelle spatiale, échelle temporelle, besoin de données, procédures de calcul/d'analyse au regard des données disponibles et des effets à rechercher	Note méthodologique complète
	Résultats - Synthèses	3 – Choix de zones-test en parallèle adaptation et application de la méthodologie aux données réellement disponibles	Données / feuilles de calcul/ figures
4 – Interprétation – Analyses – Conclusion - Perspectives		Rapport final	

Synthèse des risques et actions préventives

<p>Lister les contrôles et vérification à planifier</p>	<p><i>Risques :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Non respect des délais, charge de travail sous estimée • Défaut d'implication des contributeurs • Mauvaise compréhension des objectifs du projet • Défaut d'informations <p><i>Moyens de contrôle :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Mise en place et suivi d'un planning prévisionnel • Réunions d'étapes par encadrant
----------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Ressources et compétences nécessaires

En interne, en externe Ressources matérielles et humaines Équipe projet	1. En interne			
	Nom	Service	Qualité	Compétences
	Mangeot P.	SENR	Chargé d'études « cours d'eau »	Hydromorphologie, milieu « rivières », instruction d'aides, appui technique, connaissance du contexte
	Goetghebeur P.	SENR	Chef de service	Appui hiérarchique pour la conduite du projet en interne
	Lemoine M.	SENR	Chargée d'études « zones humides »	Connaissance Zones Humides, instruction d'aides, appui technique
	Russo P.	DT MAM	Chargé d'affaires	Connaissance des opérations « Milieu » dans le bassin de la Meuse en 52, 88, 55, 08
	Jacquin T.	DT MAM	Chargé d'affaires	Connaissance des opérations « Milieu » dans le bassin de la Moselle en 88 et 55
	Fernandez J.-M.	DT MAS	Chargé d'affaires	Connaissance des opérations « Milieu » dans le département 54 (hors Sânon) + Moselle et affluents rive gauche en 57
	Bessaguet J.-C.	DT MAS	Chargé d'affaires	Connaissance des opérations « Milieu » dans le département 57 (hors Moselle rive gauche) + Sânon
	Renauld A.	DT RSI	Chargée d'affaires	Connaissance des opérations « Milieu » dans le département 67
	Durr V.	DT RSI	Chargée d'affaires	Connaissance des opérations « Milieu » dans le département 68
	Lausecker P.-O.	DPEM	Chargé d'études « Valorisation données »	Valorisation de données – Analyses statistiques
	Demortier G.	DPEM	Chef de pole "Production et gestion des données"	Données biologiques – Réseau de surveillance
	Bresson J.-M.	DPEM	Expert Connaissance du milieu	Données physico-chimiques et chimiques
	Muller S.	DSSI	Ingénieur d'études	Évaluation de la politique de l'Agence
	Fernandez B.	COM/D OC	Documentaliste	Communication avec organismes extérieurs pour biblio spécifique
	Venambre F.	DPEM	Sigiste	Appui pour le traitement/exploitation géographique des données
	Recchia M.	DSI	SOS Informatique	Installation logiciels
	Brullard O.	DSI	Administrateur de données	Connaissance des bases de données – Appui aux requêtes

<i>2. En externe</i>			
Nom	Organisme	Qualité	Compétences
Trichet E.	Université de Lorraine	Doctorante	Méthodologie sur le lien entre opérations de restaurations et effets écologiques
Lamand F.	ONEMA Dir NE	Ingénieur « connaissance et information sur l'eau »	Suivi dossiers (Longeau), connaissances milieu
Burgun V.	ONEMA Dir NE	Ingénieur « appui aux politiques de l'eau »	Mise en place des protocoles de suivi d'opérations locales de restauration, maîtrise des données biologiques (poissons) et hydromorphologique
Matte J.-L.	DREAL Lorraine	Technicien supérieur - Connaissances des Eaux superficielles	Connaissances sur les référentiels « milieu »
Devin S.	Université de Lorraine	Maître de conférences	Appui aux traitements statistiques

Macroplanning du projet

	04- févr.	11 -févr.	18 -févr.	25 -févr.	04 -mars	11 -mars	18- mars	25- mars	01 -avr	08 -avr	15 -avr	22 -avr	29 -avr	06 -mai	13 -mai	20 -mai	27 -mai	03 -juin	10 -juin	17 -juin	24 -juin	01 -juil.	08 -juil.	15 -juil.	22 -juil.	29 -juil.
PHASE 1 - Théorie (M&M)	1. Préparation																									
	Fonctionnement - Contexte																									
	Vision générale																									
	Établissement projet																									
	2. Bibliographie																									
	Suivi des opérations (Onema, Irstea, GT Nat)																									
	Évaluation (sens large, litt. Scientifique)																									
	3. Méthodologie																									
	Données disponibles																									
	Spécification besoins																									
Cadre méthodologique général (échelles géo, temporelle, données, état initial...)																										
Comment répondre aux objectifs																										
PHASE 2 - Résultats, Synthèse	4. Choix Bassin + Application																									
	Hypothèses (ce qu'on attend, ce qu'on veut montrer)																									
	Recherche données																									
	Analyses sur Bassins tests selon trame définie en 3.																									
	Interprétations																									
	5. Interprétations + Synthèses																									
	Conclusions																									
	Perspectives																									
	Besoins supplémentaires - Manques																									
	Orientations																									
Rédaction rapport de stage																										

- 1ère réunion : SMu + POL : amont pour calage Évaluation (politiques) et Valorisation
- 2e réunion pour présenter les 1ers éléments de méthode, + Commande au GVDE (02-avr)
- 3e réunion pour présenter les 1ers résultats (début juillet)
- 4e réunion de restitution de résultats (début juillet ou septembre...)

R1
R2
R3
04/09/13

— Date limite de début de rédaction/mise en forme
 ▨ Livraison des données

Introduction

➤ Contexte

La notion d'état écologique d'après la **Directive Cadre sur l'Eau** (DCE, n° 2000/60/CE du 23 octobre 2000) s'appuie sur des éléments de qualité biologique, physico-chimique et hydromorphologique et est directement liée aux fonctions et services des milieux aquatiques : fonctions de régulation des régimes hydrologiques, d'épuration ; services d'approvisionnement, éducatifs et sociaux, et économiques. C'est la diversité de milieux associée à une faune et une flore variées qui permet la réalisation des fonctions et services, et la résistance et l'adaptation à des agressions ou des évolutions.

L'hydromorphologie est présentée par la DCE comme un levier majeur pour l'atteinte de ce bon état écologique, mais subit depuis parfois plusieurs siècles des altérations profondes.

La multiplication des opérations de restauration des cours d'eau et des zones humides depuis les années 1990 a engagé l'Agence de l'Eau à financer et à suivre un nombre important de ce type d'actions. Le budget alloué aux interventions sur le milieu a par exemple été multiplié par 4 entre le VIIIe et le Xe programme de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse, ce dernier mettant encore davantage l'accent sur l'hydromorphologie comme priorité d'action d'ici à 2018 (un peu plus de 100 millions d'euros alloués sur 6 ans).

Dans ce contexte, l'évaluation de l'efficacité de ces opérations peut alors être un levier pour favoriser l'émergence de projets (en démontrant les bénéfices) tout en essayant d'examiner les réussites et échecs dans un souci d'amélioration des pratiques en la matière.

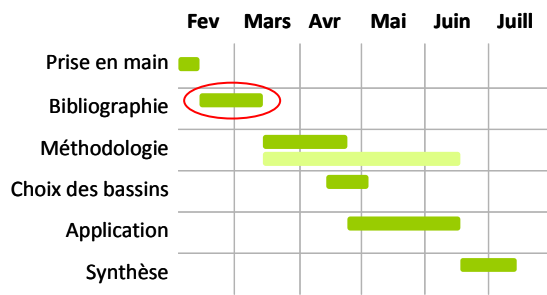
➤ Problématique

Dans le contexte actuel d'évaluation de l'état des milieux en lien avec l'atteinte des objectifs environnementaux fixés au titre de la DCE, l'objectif de l'étude est d'engager une **première démarche** sur les questions posées sur les effets des actions de restauration de l'hydromorphologie :

- ➔ Quel est l'effet écologique global obtenu au travers des opérations de restauration du milieu ?
- ➔ La contribution des opérations sur l'hydromorphologie, en rapport aux autres axes d'interventions (assainissement notamment), peut-elle être identifiée en termes d'effets sur l'état écologique (la biologie, la physico-chimie) ?

Cette étude comporte quatre volets distincts. Dans le premier, des rappels sur le milieu physique et sa restauration seront abordés, en complément d'éléments sur l'évaluation de cette restauration. Le second reprend la méthodologie envisagée et testée pour répondre aux objectifs. Le troisième volet permet de présenter les premiers résultats issus de l'application de la méthodologie, qui seront discutés dans la quatrième et dernière partie.

I. Synthèse bibliographique



NB : Ce chapitre constitue la première phase du travail réalisé à l'Agence sous la forme du mode projet. Cette phase a abouti à la rédaction de deux fiches bibliographiques diffusées en interne, et à l'intention des nouveaux chargés d'affaires sur la thématique « milieu ». Il s'agit d'une note sur l'hydromorphologie et d'une note sur la restauration des cours d'eau et zones humides d'une

dizaine de pages chacune, résumées ci-après.

Ce travail a permis de replacer le sujet dans un large contexte, alliant le point de vue local (du bassin Rhin-Meuse), national et international, la littérature grise, la littérature scientifique et les documents techniques en balayant un ensemble de disciplines complémentaires et nécessaires à la compréhension globale de la thématique.

I.1 Le milieu physique et l'hydromorphologie

I.1.1 Notions d'hydromorphologie

L'hydromorphologie est la discipline qui étudie la dynamique fluviale et les formes des rivières qui en résultent. Elle s'intéresse à la fois aux processus physiques*¹ (érosion, sédimentation, ...) et hydrauliques (régimes d'écoulement, vitesses, ...) et peut se percevoir à différentes échelles spatiales, du bassin versant à l'échelle plus locale de l'habitat* (Malavoi et Bravard, 2010). Ce sont, en d'autres termes, les **liens entre les flux et la forme** du chenal.

I.1.1.1 A l'origine de la morphologie : les variables de contrôle

Les **variables de contrôle** conditionnent l'évolution physique du cours d'eau. Il s'agit à large échelle du climat, du relief, de la géologie du lit, des berges, du fond de vallée... Les formes des cours d'eau qui résultent de leurs variations sont en ajustement permanent autour de valeurs moyennes (Malavoi et Bravard, 2010).

Le débit liquide

À l'échelle du bassin versant, un ensemble complexe de facteurs régissent les débits liquides du réseau hydrographique (précipitations, évaporation, variations du stock d'eau disponible dans le sol et tous les paramètres liés à ces notions), et les variations qui en résultent sont la source des modifications morphologiques des cours d'eau. En plaine, les débits morphogènes ne sont pas forcément liés aux crues les plus fortes, mais correspondent aux débits de hautes eaux annuelles (Les Agences de l'Eau, 1999), qui, en volume cumulé, mobilisent le plus la charge solide.

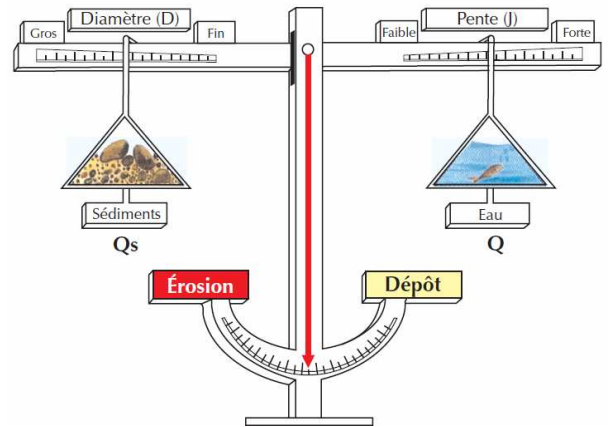
¹ Les astérisques renvoient aux définitions du glossaire.

La charge alluviale

Le flux solide ayant une influence directe sur la géomorphologie est la charge de fond du cours d'eau, c'est-à-dire la fraction grossière transportée essentiellement par charriage. C'est la résultante de l'érosion externe (provenant du BV et des affluents) et de l'érosion interne (du lit majeur et du lit mineur), responsable de l'équilibre dynamique, et qui est à l'origine de la notion d'habitats pour les organismes aquatiques.

De manière générale, on peut schématiser le contrôle du cours d'eau par un **équilibre dynamique entre la charge solide et les flux liquides capable de l'évacuer**, induisant tantôt des phénomènes de dépôt, tantôt des phénomènes d'érosion (*fig. 1*).

Figure 1 : Équilibre de la dynamique fluviale (Souchon & Chandesris, 2008, d'après Lane, 1955)



1.1.1.2 Les ajustements du cours d'eau : les variables de réponse

Les **variables de réponse** sont les facteurs qui permettent au cours d'eau de s'ajuster à l'évolution des variables de contrôle et donc au cours d'eau d'évoluer dans le temps et dans l'espace. Ce sont la **pen**te, la **largeur**, la **profondeur** à plein bord et le **style fluvial** (forme générale du cours d'eau) qui s'adaptent aux conditions moyennes qui prédominent sur le cours d'eau.

I.1.2 Altérations de l'hydromorphologie

1.1.2.1 Les activités humaines : des pressions sur la morphologie

Depuis des siècles, l'homme façonne les milieux terrestres et aquatiques pour les adapter aux usages qu'il en a. Les dégradations hydromorphologiques sont la conséquence directe des pressions* anthropiques sur les milieux et des aménagements parfois très lourds (Barthélémy et Souchon, 2009). Par ailleurs, c'est sur les variables de contrôle (flux solides et liquides) qu'agit la plus grande partie des pressions (*fig. 2*).

La morphologie en tant que structure* n'est pas non plus exempte d'interventions néfastes pour le milieu (recalibrage, rectification) (Chandesris *et al.*, 2008).

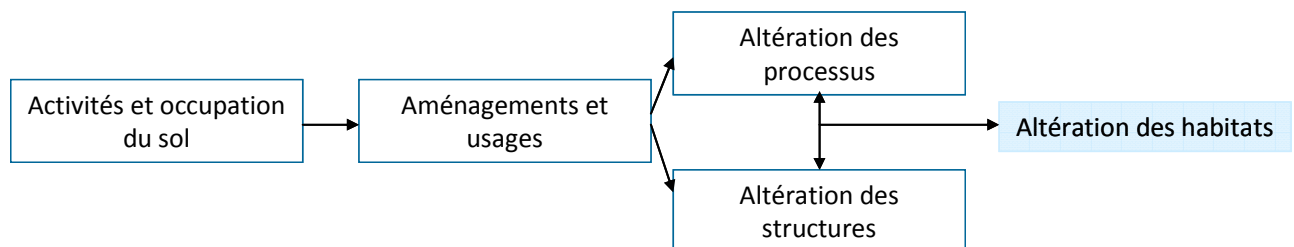


Figure 2 : Schéma conceptuel de causalité – pression/impact (d'après Chandesris *et al.*, 2008)

Altération des processus :

Des altérations du **transport solide** identifiées par [Malavoi et al. \(2011\)](#) concernent (i) la stabilisation des versants, limitant l'érosion, (ii) l'extraction de matériau en lits mineur et majeur (curage, dragage), (iii) le stockage de charge solide par les seuils et barrages ou encore (iv) la protection des berges contre l'érosion latérale. On observe également des modifications des **flux liquides**, traduites par des augmentations (accentuation de la pente, donc de l'énergie) ou des réductions (étalement de la lame d'eau si le lit mineur est élargi) de vitesse ([Wasson et al., 1995](#)).

Altération des structures :

Parmi les altérations recensées sur la morphologie, on observe fréquemment le recalibrage des cours d'eau, la rectification, la déconnexion du lit mineur à ses annexes hydrauliques par endiguement, l'altération des successions de faciès d'écoulement (radiers/mouilles) par l'implantation de seuils et barrages, la suppression de la ripisylve, ... ([Chandesris et al., 2008](#)).

Les altérations des processus et des structures peuvent ainsi avoir des conséquences durables avec une modification à plus ou moins long terme du style fluvial, selon la nature et l'intensité des dégradations ([Malavoi et Bravard, 2010](#)).

1.1.2.2 Impact des altérations morphologiques sur les communautés

L'un des impacts sur la biologie les plus emblématiques auprès du public concerne le blocage des flux migratoires des espèces piscicoles, notamment avec l'impossibilité pour les grands migrateurs (migrateurs amphihalins) de franchir des ouvrages transversaux. Ces obstacles à la mobilité de l'ichtyofaune concernent en fait l'ensemble des organismes aquatiques, qui, à des échelles spatiales et temporelles différentes, ont besoin de se déplacer pour réaliser des fonctions biologiques (reproduction, alimentation, croissance, repos, ...) ([Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques, 2010](#)).

De façon beaucoup plus générale et beaucoup plus impactante, **l'homogénéisation** des conditions de vie (processus physiques, écoulements, habitats) des organismes vivants **induite par l'ensemble des altérations** sur les cours d'eau ([Wasson et al., 1995](#)) participe à une perte de diversité et de fonctionnalité des écosystèmes ([Doyle et al., 2005](#)).

1.2 Restauration de l'hydromorphologie

La notion de « restauration de l'hydromorphologie » inclut l'ensemble des opérations visant à réduire ou à supprimer les pressions et altérations qui s'exercent sur les milieux aquatiques, tant sur les processus que sur les structures.

I.2.1 Historique et définitions



En France, les aménagements des cours d'eau peuvent être anciens, avec notamment la création de bras d'amenée d'eau pour les moulins. On en identifie un grand nombre sur les cartes de Cassini (XVIII^e siècle). Dans les **années 1950 à 1970**, la majorité des interventions soutenues par l'État ont concerné des opérations de recalibrage et de chenalisation (*fig. 3*) des cours d'eau, en lien avec la gestion des crues, l'abandon de l'entretien des rivières par les riverains (Bravard, 2010) mais également avec l'intensification des pratiques agricoles et les remembrements successifs.

Figure 3 : Le Petit Vair à Vittel (88) entièrement bétonné (Photo : T. Jacquin, AERM)

Face aux problèmes hydrauliques, écologiques et paysagers générés par ces pressions sur les milieux aquatiques, la gestion plus douce des rivières est préconisée dès les années 1980 par le Ministère de l'Environnement avec la publication à partir de 1985 de guides techniques d'entretien et d'aménagement des rivières.

L'accent est mis sur la reconquête des milieux grâce à la naissance en 1981 des premiers contrats de rivière, qui ont pour but de répondre aux objectifs de qualité des Agences de bassin (Bravard, 2010). Depuis le début des années 90 en France et plus particulièrement depuis la Directive Cadre sur l'Eau (DCE, 60/CE/2000), les opérations de restauration physique des milieux aquatiques se sont multipliées pour retrouver un équilibre écologique et concourir ainsi aux objectifs de bon état.

A l'heure actuelle, il existe encore beaucoup d'ambiguïtés quant à la définition du terme « **restauration** ». Une brève synthèse des différentes définitions adoptées dans la littérature grise et la littérature scientifique est disponible en *annexe 1*.

⇒ Dans ce document, le terme de **restauration** inclut tous les types d'opérations qui cherchent à améliorer les capacités écologiques et hydromorphologiques d'un système, et donc ses fonctionnalités par la réduction ou la levée des pressions et altérations du milieu. Néanmoins, les opérations de plus grande ambition seront qualifiées ponctuellement d'opérations de **renaturation** dans un objectif de gradation des actions, et donc de leurs effets potentiels.

⇒ Pour résumer l'**objectif** de la restauration écologique, il s'agit, par l'action de l'homme, pour le milieu de retrouver des caractéristiques physiques, hydrauliques et hydrologiques lui permettant d'**assurer les fonctions** d'un hydrosystème, proche d'un état sans perturbation (originel ou non), en s'appuyant sur ses capacités propres d'autoréparation (ajustement morphologique, autoépuration) et en permettant le maintien des usages encore en vigueur.

Les scientifiques (Friberg, 1998 ; Biotec et Malavoi, 2007 ; Jähnig, 2010) identifient deux types de restauration :

→ la restauration **passive**, qui consiste en la suppression des pressions qui s'exercent sur le milieu afin de favoriser l'auto-restauration du cours d'eau. Ce type d'action peut aussi bien concerner l'arrêt de l'entretien trop drastique (curage, dragage), la protection contre le bétail, ou encore la suppression de seuils ;

→ la restauration **active**, pour les cours d'eau dont la capacité de réajustement est faible. Les actions concernées incluent toute intervention pour rendre « artificiellement » au cours d'eau une dynamique fonctionnelle.

Par ailleurs, une typologie proposée par Biotec & Malavoi (2007) est retenue selon les niveaux d'ambition des opérations de restauration. Outre des opérations de préservation (« P ») de milieux non ou peu dégradés et des opérations de limitations de dysfonctionnement (« L »), on peut distinguer différents niveaux d'ambition d'opérations qui correspondent à la restauration d'un nombre croissant et continu de fonctionnalités :

→ les opérations de type « **R1** » consistent en la **restauration d'un compartiment** de l'hydrosystème (exemple : transport solide, ou ichtyofaune). Ces opérations concernent les travaux effectués essentiellement dans le lit mineur ;

→ les opérations de type « **R2** » correspondent à une **restauration plus globale des fonctions** de l'hydrosystème en s'intéressant à tous les compartiments aquatiques (transport solide, habitats aquatiques, biologie,...) mais aussi aux rives du cours d'eau (berges, ripisylve) ;

→ les opérations de type « **R3** » permettent la **restauration complète** de l'hydrosystème, y compris en termes de connectivité latérale puisqu'elles redonnent une dynamique d'érosion dans un espace de mobilité. C'est surtout ce type d'intervention qui est qualifié de renaturation.

I.2.2 En pratique

Le contexte juridique

Les pressions/altérations sur la morphologie des cours d'eau et zones humides étant la cible des opérations de restauration, il est naturel de les placer au cœur de cette étude en identifiant (i) les sources de perturbation d'un point de vue général (les grandes périodes d'altérations morphologiques) et (ii) les leviers, à savoir l'historique des opérations de restauration du milieu. Un premier état des lieux du contexte juridique national lié à l'hydromorphologie (*fig. 4*) explique partiellement le caractère hétérogène dans le temps, l'espace et les niveaux « d'ambition » des opérations réalisées en France et sur le bassin Rhin-Meuse.

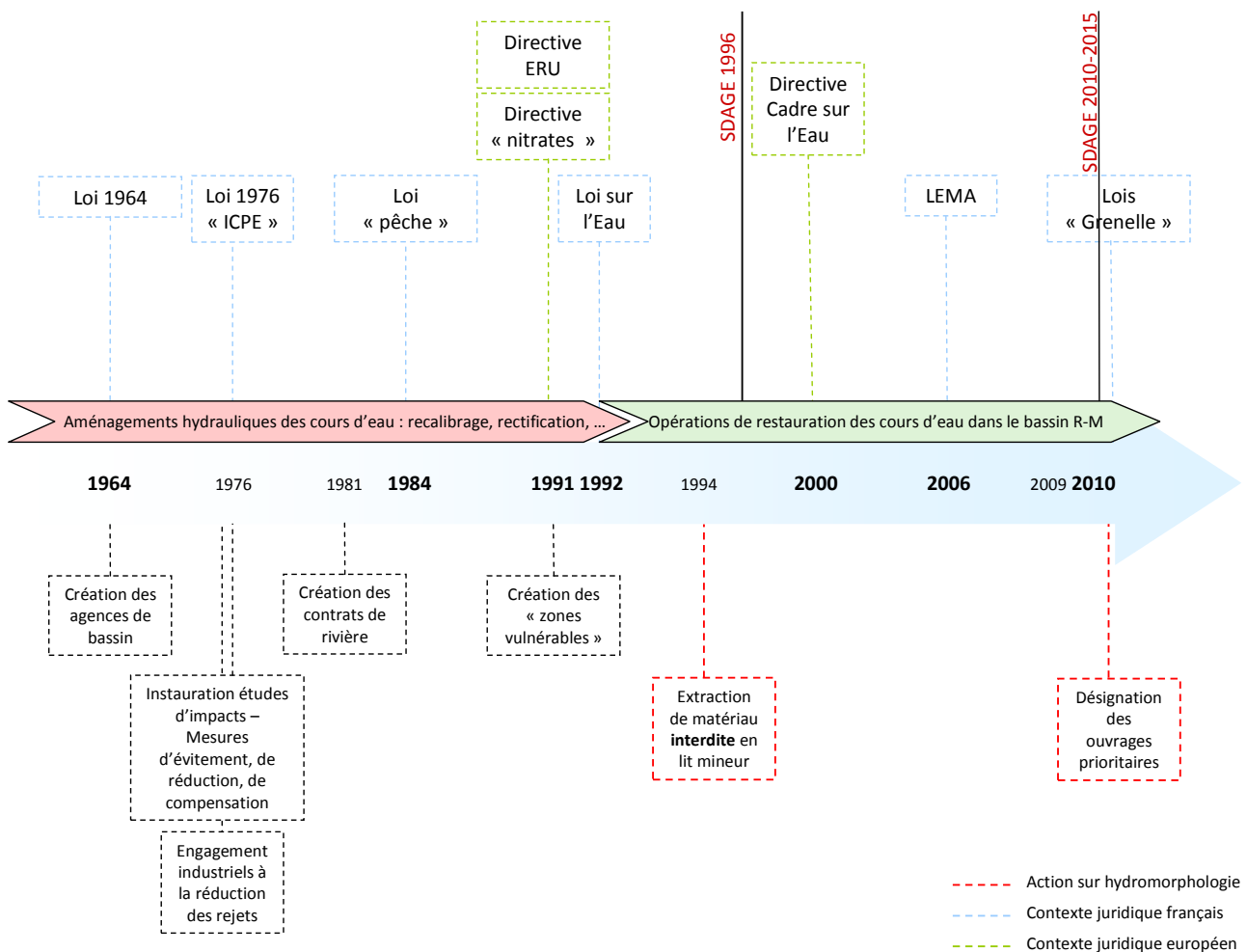


Figure 4 : Contexte juridique lié aux milieux aquatiques et à l'hydromorphologie

Les restaurations dans le bassin Rhin-Meuse

L'AERM subventionne depuis 1992 des opérations de restauration des milieux aquatiques dans le but d'améliorer la qualité morphologique, physico-chimique et biologique. Pour orienter ces travaux, l'Agence s'est appuyée sur l'étude de la qualité du milieu physique à l'aide de l'outil QUALPHY. Au total, 8000 kilomètres de cours d'eau (sur 30000 km de réseau hydrographique sur le bassin) ont été étudiés entre 1992 et 2004, dont les résultats ont servi d'appui aux interventions.

En parallèle, de 1992 à 2011, près de 2800 opérations de travaux ont été financées par l'Agence de l'eau (POYRY et AERM, 2013). Un constat général d'arrêt des dégradations et de restauration « simple » (gestion de la végétation, entretien raisonné de la ripisylve) dans les années 1990 a été fait. Le début des années 2000 marque une augmentation du niveau d'ambition des opérations avec des actions davantage dirigées sur la réduction/suppression des pressions sur l'hydromorphologie.

Les freins locaux aux opérations de restauration

Afin de trouver la meilleure solution possible pour restaurer le milieu, l'expertise initiale fait appel à un grand nombre d'acteurs, qu'ils soient scientifiques, politiques ou ayant un lien direct avec le cours d'eau (usagers). L'utilisation conjointe du milieu implique des enjeux à la fois

écologiques et socio-économiques (Barthélémy et Souchon, 2009). Il n'existe à ce jour aucun moyen réglementaire pour entreprendre (ou faire entreprendre) des interventions de restauration, et les freins sont encore nombreux pour engager des programmes d'actions, alors même que la logique de la logique de la DCE impose l'atteinte des résultats au travers, entre autres leviers identifiés, de la restauration de l'hydromorphologie.

Même si les élus semblent sensibilisés et prennent progressivement conscience de la nécessité de restaurer les milieux, les enjeux politiques prennent souvent le pas sur l'aspect environnemental et empêchent la réalisation de travaux. Par ailleurs, **l'incertitude des résultats obtenus après travaux** rend difficile l'acceptation locale, tant par les élus que par les riverains (Bourdin *et al.*, 2011) et il est donc nécessaire d'apporter des éléments de réponse pour faciliter les démarches.

I.3 Évaluation des effets sur les milieux

I.3.1 Évaluation des opérations de restaurations

Les opérations de restaurations sont étudiées depuis les années 1980 en Amérique du Nord (Harrison *et al.*, 2004). Ce sont le plus souvent des suivis par thématiques (effacement d'ouvrages, reméandrage) ou sur une zone géographique très restreinte avec une démarche d'évaluation avant et après travaux. L'étude de la bibliographie scientifique dans le domaine de l'évaluation et de la quantification des **effets** de ces opérations montre des **résultats très contrastés** (*e.g.* Doyle *et al.*, 2005 ; Harrison *et al.*, 2004 ; Jähnig *et al.*, 2009 ; Jähnig *et al.*, 2010, Lepori *et al.*, 2005). Le choix des secteurs d'étude et des échelles spatiale et temporelle de chaque exemple cherche pourtant à s'affranchir ou minimiser les effets d'autres facteurs.

Ces études font prendre conscience de la complexité de ce travail, qui implique une multiplicité de facteurs d'influence, des données déjà acquises et des moyens limités, ainsi qu'un faible recul par rapport aux opérations menées sur le bassin. Il existe en effet à ce jour un faible nombre d'opérations suivies dont on dispose de données avant et après travaux en Europe et surtout en France. Les opérations du bassin Rhin-Meuse sont également trop récentes et le manque d'informations sur l'efficacité des travaux augmente la difficulté de convaincre les maîtres d'ouvrage d'engager des actions de restauration autant que des études de suivi.

Effets sur le milieu physique

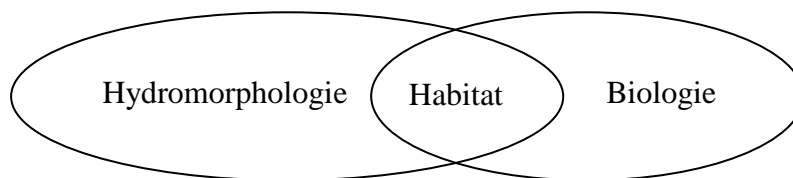
D'après Friberg *et al.* (1998), le milieu physique tend à se stabiliser environ 3 ans après des travaux lourds (reméandrage) et c'est le même délai que l'on observe pour une stabilisation des communautés d'invertébrés benthiques. En revanche, l'arrêt de pratiques dégradantes (restauration

passive) n'avait pas permis 6 ans après d'observer une stabilisation du milieu physique dans cette étude de cas mais déjà une modification intéressante des communautés d'invertébrés.

Le délai d'observation d'effets potentiels peut alors varier de **l'ordre de l'immédiat** (effets négatifs des travaux) à **une quinzaine d'années** (arrêt de mauvaises pratiques, plantations, opérations sur cours d'eau à très faible énergie,...).

Effets sur la biologie

Comme le rappellent [Elosegi et al. \(2010\)](#), la morphologie des cours d'eau est le support physique des processus écosystémiques, et fournit une diversité d'habitats pour la biocénose* et un cadre physique pour les processus écosystémiques. Au travers de cette notion d'habitats et de supports, le lien entre la morphologie du cours d'eau et la composition des communautés permet de cibler le compartiment biologique comme « témoin » de l'évolution du milieu physique.



Les réponses de la biologie à la restauration du milieu peuvent être différentes: effets négatifs consécutifs aux travaux qui perturbent le milieu (actions mécaniques), équilibre quand le milieu physique est stabilisé ([Doyle et al., 2005](#) ; [Friberg et al., 1998](#)). Les délais et les impacts attendus après restaurations sont ajustés en fonction de la typologie des cours d'eau : les effets seront d'autant plus rapides et intenses que le cours d'eau sera dynamique ([Biotec et Malavoi, 2007](#)).

D'après ces études, les effets sur le milieu dépendent de plusieurs paramètres ([Doyle et al., 2005](#) ; [Friberg et al., 1998](#) ; [Harris et al., 2005](#) ; [Harrison et al., 2004](#)) : le type de restauration (passive ou active, niveau d'ambition, intensité des travaux), le compartiment visé (milieu physique, faune, flore,...), la typologie du cours d'eau et sa capacité d'auto-restoration ([Jähnig et al., 2010](#)). C'est sans compter les réponses à des pressions issues d'autres forces motrices*.

I.3.2 Effets des autres forces motrices

Les cours d'eau sont soumis à de multiples sources de pressions directes (en lien avec des usages) ou provenant de leur BV, et de natures très variées. On identifie des grandes catégories de forces motrices hors facteurs naturels, chacune induisant des modifications des paramètres environnementaux, et qui sont l'industrie, l'agriculture, les populations et l'énergie.

Dans le temps imparti à cette étude, il a été décidé de s'intéresser prioritairement aux collectivités par leurs rejets d'eaux usées et à l'agriculture, forces motrices parmi les sources

d'apports les plus importants en azote, phosphore et matières organiques (risque d'eutrophisation, d'anoxie des milieux, ...). Les autres pressions pourront être analysées au cas par cas, en particulier le contexte industriel selon les bassins versants.

Eaux usées - Collectivités

Bonierbale (2004) identifie trois impacts majeurs sur les écosystèmes, et sur la biologie des rejets des collectivités.

→ En premier lieu, une diminution de l'**oxygène dissous** due à la dégradation aérobie des matières organiques peut induire un changement dans les communautés animales aquatiques, plus tolérantes en termes d'oxygénation, et au régime trophique adapté à la quantité de matière organique apportée.

→ Ensuite, une **toxicité aiguë ou chronique** peut être associée aux micropolluants rejetés dans les eaux usées domestiques.

→ Enfin, les rejets domestiques et surtout le métabolisme humain constituent la principale source d'apport en phosphore (Dernat *et al.*, 1994, in Deronzier et Choubert, 2004) susceptible d'altérer la qualité de l'eau et des milieux aquatiques. En effet, le phosphore est, dans un milieu naturel, le facteur limitant de la croissance végétale. En cas d'apports excessifs, on peut assister à une prolifération végétale (algues et macrophytes) qui induit une surconsommation l'oxygène dissous dans l'eau. **L'eutrophisation**, bien que phénomène naturel, est accéléré par les rejets domestiques. On parle alors de **dystrophie**. L'apport en azote (deuxième facteur limitant de la croissance des plantes) par les rejets domestiques participe à ce phénomène.

On peut émettre l'hypothèse que dès la mise en service d'une station d'épuration (STEP) les effets sont très rapides sur le milieu récepteur (quelques mois seulement) en termes de qualité physico-chimique de l'eau. Quelques cas exceptionnels où l'installation de STEP a entraîné une dégradation de l'eau peuvent se rencontrer sur le bassin, au niveau de communes très rurales (concentration des effluents domestiques, moins acceptables par le milieu que des apports diffus mais faibles et épurés naturellement) (Comité de Bassin Rhin-Meuse, 2010). L'effet immédiat attendu de l'installation d'ouvrages de traitements des eaux usées sera ainsi porté essentiellement sur la physico-chimie de l'eau.

Agriculture

L'agriculture et son lien avec les milieux aquatiques revêt un caractère très ancien, d'autant plus lorsqu'il s'est agi d'intensifier les pratiques. Entre l'assèchement des zones humides par le drainage ou les prélèvements d'eau pour l'irrigation, les pratiques ont néanmoins changé depuis la seconde guerre mondiale et complexifié les relations agriculture-eau, non seulement d'un point de vue social, mais également scientifique (Strosser *et al.*, 1999).

Les impacts de l'agriculture sur les milieux aquatiques sont nombreux et encore mal connus. La difficulté à estimer les réponses (et temps de réponses) des modifications de pratiques agricoles s'observe surtout lorsqu'il s'agit de pollutions diffuses, difficiles à mesurer. Des dégradations des milieux naturels sont néanmoins connues et identifiées :

- Les prélèvements d'eau pour l'irrigation des grandes cultures peuvent réduire la lame d'eau dans les cours d'eau, notamment en période estivale ;
- Les systèmes de drainage peuvent entraîner la disparition de zones humides ;
- Le lessivage de produits phytosanitaires, induisant des effets secondaires pour les organismes vivants ;
- La rectification, le recalibrage de cours d'eau et la suppression de ripisylve pour favoriser les écoulements, conduisant à une banalisation des habitats et une perte de biodiversité ;
- Le lessivage d'engrais azotés, phosphorés ou encore d'effluents d'élevage épandus vers les nappes et cours d'eau, accélèrent en surface les phénomènes d'eutrophisation. L'agriculture est en effet la source majeure d'azote dans les milieux aquatiques (Strosser *et al.*, 1999) et en particulier de nitrates, particulièrement solubles.

Les effets de l'agriculture concernent donc à la fois la physico-chimie de l'eau et la structure physique.

Précisons ici que les forces motrices, et par extension les pressions qu'elles exercent sur la biologie, sont en **évolution permanente**, avec la mise en œuvre relativement récente de **leviers** (assainissement des collectivités, mise en place de bandes enherbées, mise aux normes de bâtiments d'élevage, mesures agro-environnementales, ...) pour tenter de les réduire ou de les supprimer.

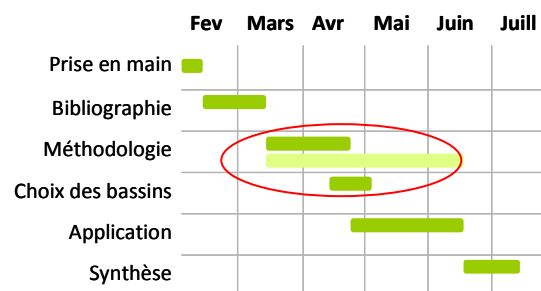
Ces évolutions sont une **source prépondérante de variation** des communautés aquatiques, et leur étude en parallèle de l'hydromorphologie, bien qu'indispensable pour comprendre les phénomènes observés, ne pourra qu'être partielle. La qualité du milieu peut en outre s'expliquer par l'influence de nombreuses variables environnementales et surtout :

- l'hydrologie, qui peut entraîner un effet de dilution (fortes précipitations, débit élevé) ou un effet de concentration (faibles précipitations estivales) ;
- le climat (ensoleillement, températures), favorisant l'échauffement des eaux, la prolifération algale, accentuant l'effet de concentration des éléments et de diminution de la lame d'eau par évaporation...

II. Méthodologie

NB : Ce chapitre regroupe deux phases identifiées sur le planning ci-contre : la phase « méthodologie » et celle de choix des bassins. Trois documents ont été produits : une note méthodologique qui définit les clés d'entrée et les choix opérés pour réaliser l'étude (50 pages, à usage interne), une note de travail qui reprend toutes les étapes ayant conduit au choix de zones-cibles (14 pages, à usage interne) et une note relative aux traitements des données (25 pages, usage interne).

La note méthodologique s'articule autour de questions, qui servent à cadrer la réflexion et poser les problèmes lorsqu'ils apparaissent et les résolutions par des choix motivés. De ce fait, la note méthodologique a été en perpétuel ajustement jusqu'à la rédaction de ce rapport, de façon à adapter la démarche au contexte local du bassin Rhin-Meuse et à la disponibilité des données.



II.1 Choix préalables et critères requis

S'intéresser à un cumul d'opérations est une approche relativement nouvelle dans l'évaluation des effets de la restauration hydromorphologique des milieux et s'intègre pleinement dans les missions de l'Agence de l'Eau. En effet, les interventions soutenues par l'Agence s'inscrivent dans le cadre de programmes globaux menés de manière pluriannuelle et à des échelles hydrographiques cohérentes (à l'instar de la DCE et des échelles déclinées dans le SDAGE et le PdM). L'approche choisie se veut également complémentaire du suivi et de l'analyse à l'échelle du tronçon (analyse d'une opération cible) plus communément étudiée, ces deux échelles ne nécessitant pas les mêmes méthodes d'investigation ni le même niveau de précision (Malavoi et Souchon, 2010).

Le parti pris pour ce cadrage méthodologique est de fournir des clés d'entrées dans le choix des échelles, variables, traitements de données,... dans le but de mettre en évidence des tendances d'évolution résultant des effets potentiels des opérations de restauration, et cela à des échelles temporelle et spatiale relativement vastes (en comparaison des études classiques de suivi de la restauration menées sur un site).

Cette démarche vise ainsi à intégrer **l'action combinée** de successions d'interventions de restauration étalées dans le temps, telles que mises en œuvre dans le cadre des programmes globaux de gestion/restauration de milieux. **Il n'est donc pas question ici de quantifier de façon exacte les changements, mais bien d'intégrer, à une large échelle, les facteurs explicatifs d'évolution de la biologie comme témoin de la qualité du milieu (cf. I.3.1), et d'en dégager l'influence potentielle des opérations de restauration hydromorphologique.**

II.1.1 Échelle spatiale

Pourquoi utiliser une échelle large, supérieure au tronçon ?

Dans la littérature scientifique, les auteurs ciblent souvent l'échelle de l'habitat, indispensable à la réalisation des fonctions biologiques. C'est en effet souvent l'amélioration de la qualité et de la diversité des habitats qui est recherchée lors d'une opération de restauration.

En raison de résultats contrastés, *Jähnig et al.* (2010) insistent particulièrement sur le fait d'utiliser une échelle spatiale large. L'utilisation d'un bassin versant comme échelle permettra de s'intéresser à un **ensemble d'opérations de restauration hydromorphologique**, dont le cumul (à l'inverse de l'individualité des actions étudiées par la plupart des scientifiques) serait susceptible d'engendrer des effets sur les communautés aquatiques dans le temps (*fig. 5*). L'utilisation d'une étendue spatiale large permettrait en outre la prise en compte de l'arrêt des dégradations sur le milieu, impulsé par la mise en place du contexte juridique environnemental (Loi sur l'eau, DCE) et de programmes globaux pluriannuels d'entretien qui peuvent être considérés comme une action de restauration passive des milieux (ou de préservation d'un fonctionnement à faible niveau de pressions).

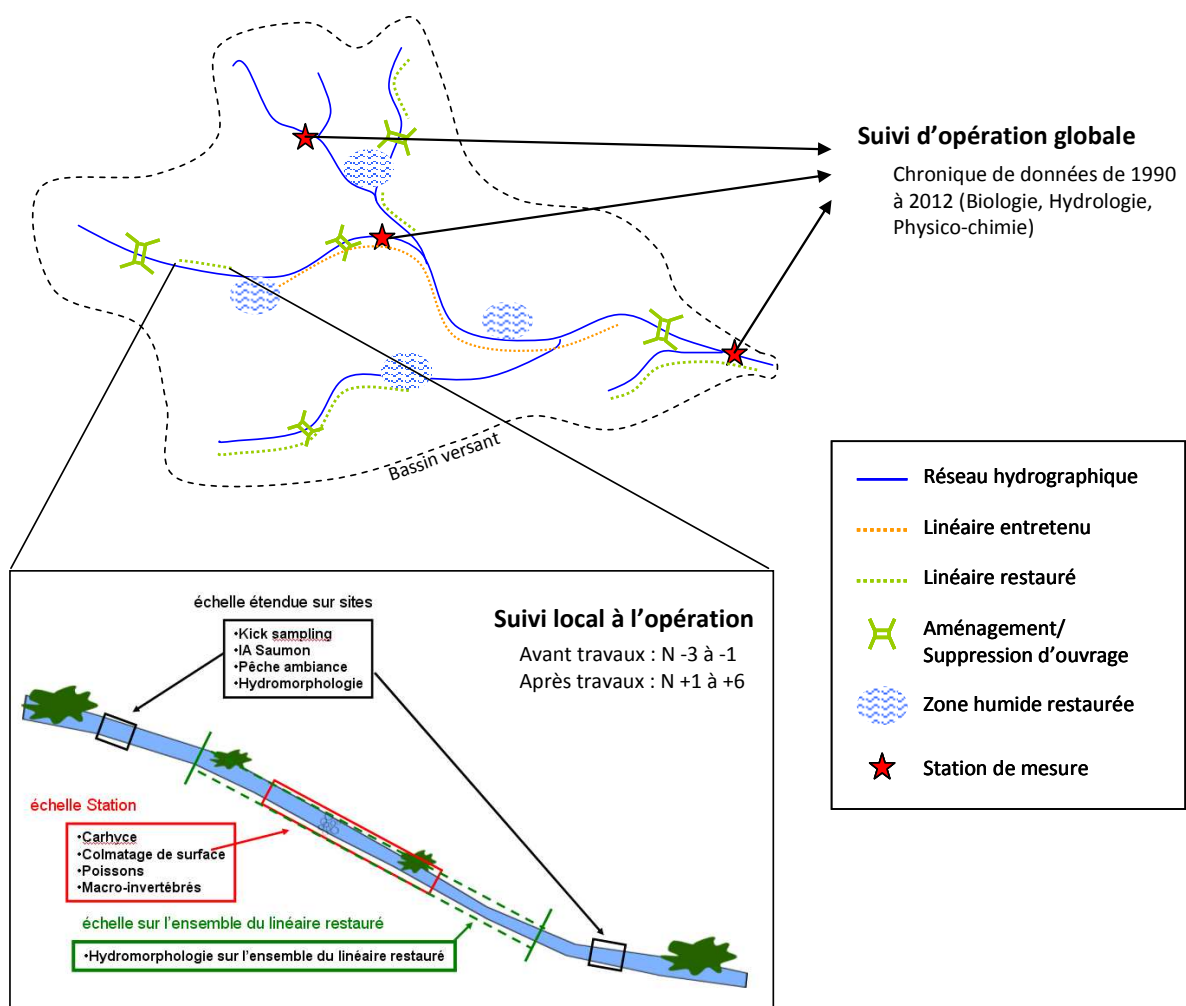


Figure 5 : Exemples de suivi local et de suivi global (d'après Malavoi et Souchon, 2010)

Quelle est la meilleure échelle pour observer des effets potentiels ?

L'utilisation d'une échelle trop large multiplie le nombre de données et leur(s) source(s) de variation potentielle. Les pressions anthropiques sont également croissantes dès lors que la taille du bassin versant envisagé augmente, et par conséquent le nombre de variables à prendre en compte s'en trouve difficile à maîtriser et à analyser. A l'inverse, une échelle spatiale réduite nécessiterait de prendre en compte des effets très locaux et ne permettrait sans doute pas d'appréhender les opérations de restauration hydromorphologique dans la dimension souhaitée (cumul d'actions).

L'échelle spatiale optimale pour étudier des effets potentiels doit ainsi permettre d'intégrer (i) un historique d'opérations de restauration depuis les années 1990 (début des interventions de restauration de l'hydromorphologie), (ii) au moins deux stations de mesure (une située en partie aval du bassin versant, témoin de l'activité de l'amont, et une située en partie amont, afin d'intégrer un gradient longitudinal) et (iii) idéalement une station hydrométrique.

Pourquoi l'échelle de la masse d'eau semble pertinente ?*

La masse d'eau est une notion introduite par la DCE et est devenue l'unité de gestion de la ressource en eau sur laquelle sont définis les objectifs environnementaux. Elle est en outre le reflet de caractéristiques géographiques et de pressions homogènes. Il est alors intéressant de considérer le **bassin versant** de masse(s) d'eau : celui-ci intègre l'ensemble du réseau hydrographique associé aux drains principaux qui ont été définis comme masse d'eau.

En bref

Pour évaluer l'effet d'un historique d'actions et d'un cumul d'interventions, l'analyse à l'échelle d'un bassin versant est privilégiée. On se concentrera sur des BV de masses d'eau agrégés ou non en fonction de la taille des masses d'eau considérées dans les études de cas.

II.1.2 Échelle temporelle

L'échelle temporelle comporte plusieurs niveaux d'analyse et doit permettre de répondre à certaines problématiques : l'**objectif** de l'étude (les effets des opérations de restauration hydromorphologique sur une chronique), l'utilisation des **données** biologiques, physico-chimiques et contextuelles (disponibilité, stabilité, l'homogénéité) et le **temps de réponse** du milieu à des modifications sur le bassin versant (modification du milieu physique, changements de pratiques humaines et évolution des pressions et leviers, ...), c'est-à-dire la prise en compte *a posteriori* dans le temps des modifications ayant un effet sur la biologie.

Depuis quand dispose-t-on de données sur l'hydromorphologie ?

Entre **1992 et 2004**, l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse a mis en place des études de caractérisation du milieu physique des principaux cours d'eau du bassin. Au total, 8000 km de rivières ont été

traités par l’outil QUALPHY étudiant les compartiments du milieu physique : lit mineur, lit majeur et berges. C’est également à partir de **1992** qu’ont eu lieu les premières opérations de restauration hydromorphologique dans le bassin (protection de berge, travaux d’entretien, plantations,...).

Quelle est la disponibilité temporelle des données « biologiques » ?

Une **étude globale des bases de données de l’Agence de l’eau** a permis de mettre en exergue l’historique de l’utilisation des indices biologiques (sources en *annexe 2*) dans le bassin Rhin-Meuse résumé dans le *tableau I*. La disponibilité de ces données à l’échelle de la station est cependant beaucoup plus hétérogène et dépendante de son appartenance à des réseaux de mesure aux finalités différentes (abandon ou ajout de stations, fréquence d’analyse hétérogène, trous dans la chronique, ...).

Tableau I : Chronique d'utilisation des indices biologiques dans le bassin Rhin-Meuse

	1987	1993	1997	2001	2007
Diatomées		IBD/IBD2007	IPS/IBD/IBD2007	IPS/IBD2007	
Invertébrés IBG	IBGN	IBGN	IBGN	IBGN	IBGN Équivalent
Poissons	Liste/Abondance	Liste/Abondance	Liste/Abondance	IPR/Liste/Abondance	IPR/Liste/Abondance

A quel pas de temps/délai peut-on observer des effets sur le milieu de la restauration hydromorphologique ?

Les effets consécutifs à une restauration de l’hydromorphologie peuvent suivre des processus souvent séquencés, et très variables selon le type d’intervention et le type de cours d’eau (1. réduction/suppression des pressions/altérations, 2. retour d’habitats et amélioration de la qualité biologique locale et 3. colonisation biologique).

De façon générale, l’observation d’effets sur le milieu dépend de plusieurs paramètres (Doyle *et al.*, 2005 ; Friberg *et al.*, 1998 ; Harris *et al.*, 2005 ; Harrison *et al.*, 2004) et notamment du type de restauration (passive ou active, niveau d’ambition, intensité des travaux associés), du compartiment visé (milieu physique, macrophytes, ripisylve, faune aquatique) ou encore de la typologie du cours d’eau et sa capacité d’auto-restauration (Jähnig *et al.*, 2010).

Le délai d’observation d’effets peut en conséquence varier de **l’ordre de l’immédiat** (effets négatifs des travaux) à **une quinzaine d’années** (arrêt de mauvaises pratiques, plantations, opérations sur cours d’eau à très faible énergie,...). Ce constat permet de livrer un premier argument en faveur de la réalisation d’une **chronologie à long terme** depuis, *a minima*, le début des opérations de restauration dans le bassin Rhin-Meuse (**1992**).

En bref

L’échelle temporelle retenue est une chronique à long terme depuis une vingtaine d’années afin de prendre en compte l’ensemble des interventions sur l’hydromorphologie, les délais attendus pour l’observation d’effets et la disponibilité en données.

II.1.3 Données et traitements primaires

L'ensemble des données utilisées dans cette étude sont issues de multiples bases, internes à l'Agence ou provenant d'organismes partenaires. Les méthodes de mobilisation des données, de restitution et leur **disponibilité** ont imposé la réflexion à la base de cette méthodologie, sachant qu'aucune acquisition de donnée nouvelle n'est autorisée pour les besoins spécifiques du stage.

II.1.3.1 Les forces motrices

Quels sont les paramètres qui permettent de décrire la restauration de l'hydromorphologie dans le bassin versant ?

Les opérations de restauration hydromorphologique peuvent être compilées au sein d'un bassin versant grâce à plusieurs informations. Le travail de Pöyry Environnement (2013) a permis d'une part l'intégration au sein d'une base unique de toutes les opérations « milieu » en géolocalisant lorsque c'était possible. D'autre part d'une première typologie de travaux fournit un gradient dans le niveau d'ambition des actions réalisées.

Une nouvelle typologie plus cohérente avec les objectifs de cette étude est proposée (*annexe 3*) en y intégrant les programmes pluriannuels d'entretien soutenus par l'ABERZH (aide au bon entretien des rivières et zones humides), en fusionnant les catégories « protection » et « entretien » de zones humides. L'ABERZH concerne en effet près de 500km par an de cours d'eau depuis 2007. La part de chaque type d'opérations (hormis l'ABERZH, non intégrée dans la base Pöyry) est présentée en *figure 6* en rapport à l'ensemble des projets soutenus par l'Agence.

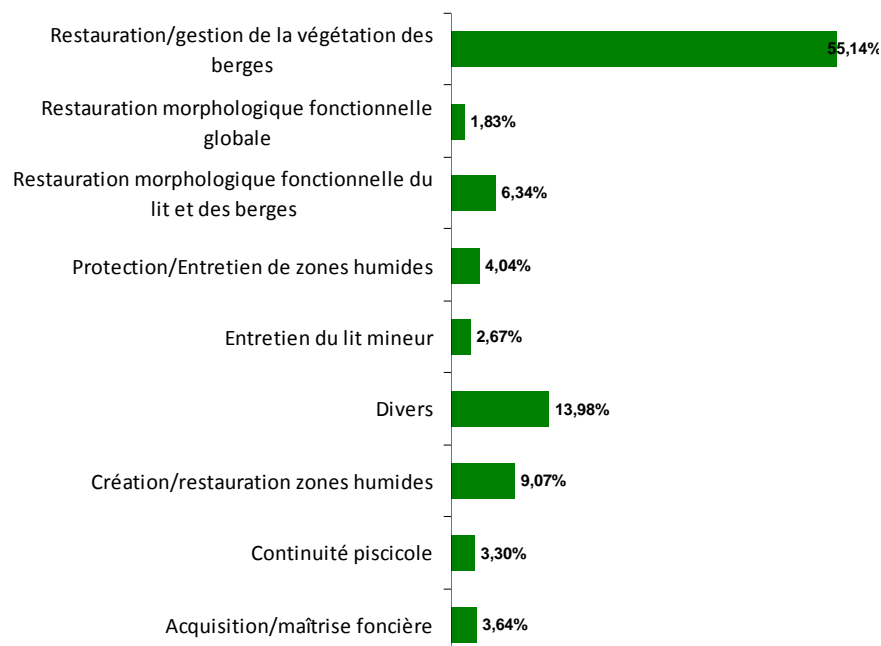


Figure 6 : Pourcentage d'opérations par type de restauration sur le bassin (*hormis la catégorie ABERZH*)

Quels sont les paramètres qui permettent de décrire l'assainissement dans le bassin versant ?

L'assainissement dans le bassin peut être décrit par plusieurs paramètres dont le nombre de stations d'épurations (STEP), la capacité totale (en Équivalents-Habitant, EH), la localisation des STEP, l'année de construction, les communes épurées ou encore les types de traitement. Le niveau d'analyse retenu ne permettra cependant pas de prendre en compte l'intégralité de ces informations et ne constituera pas une évaluation fine de l'efficacité épuratoire dans le BV..

Trois « marqueurs » de la pollution issus des rejets de stations d'épuration peuvent être utilisés (Hocquet et Golla, 2010) pour un travail **d'analyse** plus approfondi. Il s'agit de la **demande biologique en oxygène à 5 jours** à 20°C (**DBO5**) qui traduit la concentration en matière organique rejetée, **l'ammonium** NH_4^+ , produit de dégradation du métabolisme humain et les **orthophosphates** PO_4^{3-} . Néanmoins, le **phosphore total** peut être un élément de suivi des rejets domestiques dans la mesure où il inclut à la fois le phosphore organique (issu du métabolisme humain) et inorganique (provenant des produits lessiviels) (Deronzier et Choubert, 2004). A ces paramètres peuvent également s'ajouter la **DCO (demande chimique en oxygène)**, **l'azote Kjeldahl NKJ** (azote organique + azote ammoniacal), **l'azote global** et les **matières en suspension (MES)** qui sont fréquemment étudiés (Conseil Général du Bas-Rhin, 2010 ; Duchêne et Vanier, 2002 ; Mercoiret, 2010).

Quels sont les paramètres qui permettent de décrire l'agriculture dans le bassin versant ?

L'approche descriptive de l'agriculture dans le bassin versant repose sur le **nombre d'exploitations agricoles** et leur évolution sur les deux dernières décennies. **L'occupation du sol** sur le bassin versant permet, grâce à Corine Land Cover (CLC), de décrire les proportions de grands types d'agriculture (terres arables, prairies, cultures permanentes, ...) et leur évolution depuis 1990.

En complément de l'occupation du sol, **l'évolution de la surface agricole utile (SAU)** et de la proportion des surfaces en herbes (STH/SAU) peut être évaluée. Ces données peuvent être sinon des indicateurs de pression, du moins des témoins de changements de pratiques agricoles (Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, 2008) et sont issues du recensement général agricole (RGA).

L'un des marqueurs largement étudié en agriculture est le paramètre « **nitrites** », molécule très soluble dans l'eau et facilement entraînée lors de ruissellement ou d'infiltration. Ces nitrites sont fortement liés aux effluents d'élevage (épandus ou non) et autres engrais appliqués sur les cultures.

En bref

Trois forces motrices sont retenues dans l'étude : l'hydromorphologie, cible première des investigations, les collectivités et leurs eaux usées, et l'agriculture. Elles feront l'objet d'une description à l'échelle considérée des zones-test par des données disponibles à l'Agence de l'eau (bases de données « Interventions », « Ouvrages eaux usées », « Corine Land Cover » et le RGA).

II.1.3.2 Les variables-cibles

Quels compartiments étudier ?

Les variables biologiques étudiées provenant des bases de l'Agence sont issues d'outils d'évaluation de la qualité, et utilisées dans l'estimation de l'atteinte des objectifs environnementaux.

(a) Les **macroinvertébrés** sont utilisés depuis longtemps comme indicateurs de la qualité de l'eau, puis de la qualité écologique, avec l'élaboration en 1967 de l'Indice Biotique de Tuffery et Verneaux. Au niveau du bassin Rhin-Meuse, les macroinvertébrés font l'objet depuis les années 1980 de suivis réguliers. L'IBGN est considéré comme stable depuis 1992 sur le bassin. Depuis 2007 un nouveau protocole est appliqué permettant le calcul d'un indice IBGN-équivalent. Un indice continu peut être utilisé (IBGN suivi de la note IBGN-équivalente) sur l'ensemble de la chronique.

Bonada *et al.* (2006) identifient d'ailleurs plusieurs avantages à intégrer l'étude des macroinvertébrés dans l'évaluation des milieux aquatiques, parmi lesquels (i) leur omniprésence, (ii) une très grande richesse spécifique offrant un large panel de réponses spécifiques environnementales, (iii) la sensibilité d'un grand nombre d'espèces à différents types de perturbations. Par ailleurs, la littérature scientifique fait apparaître de nombreuses publications sur l'évaluation des opérations de restauration hydromorphologique à l'aide des macroinvertébrés (Doyle *et al.*, 2005 ; Friberg *et al.*, 1998 ; Jähnig *et al.*, 2009), la composition des communautés d'invertébrés étant entre autres liée à la notion d'habitat (*fig. 7*).

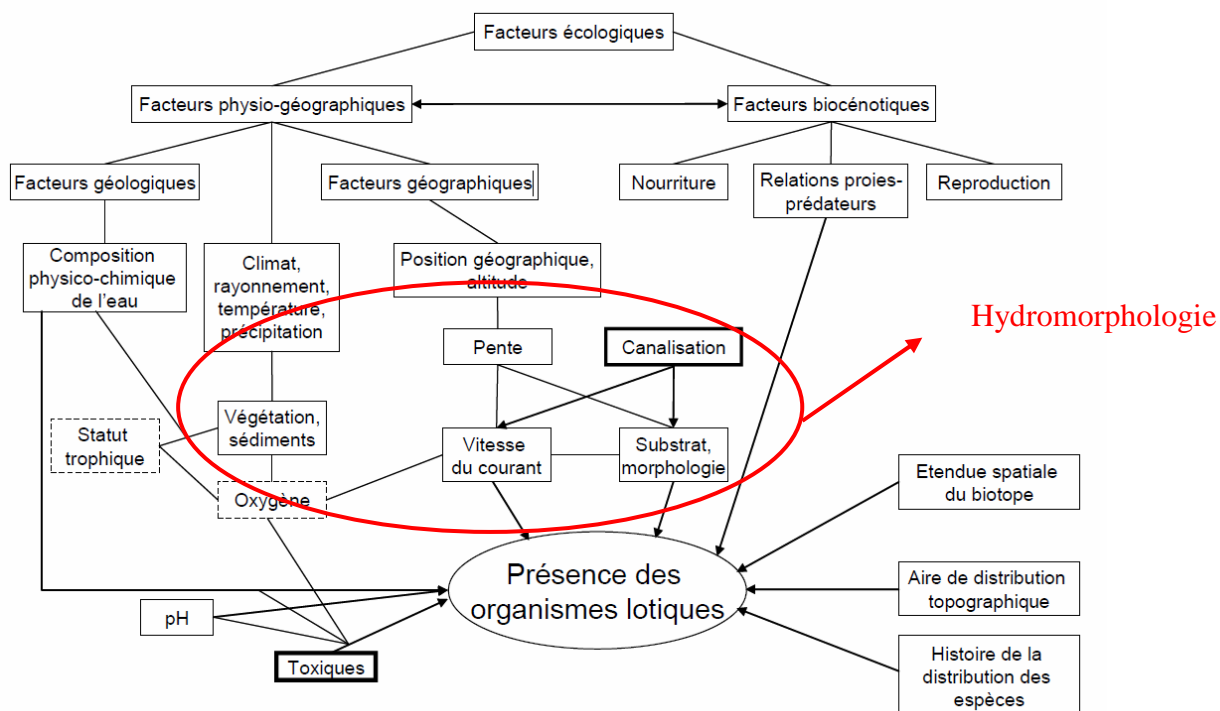


Figure 7 : Facteurs déterminant la présence des invertébrés benthiques dans les cours d'eau (modifié d'après Caquet, 2012)

Ce schéma met en évidence la relation complexe qui conditionne la présence d'invertébrés, et dans une autre mesure, la composition taxonomique. Un rapport particulier avec des facteurs hydromorphologiques est ici mis en avant. Ce compartiment biologique sera donc, au regard de la disponibilité maximale en données et de la littérature, l'élément sur lequel porteront les analyses les plus fines et les plus complètes dans le cadre de cette étude.

(b) Les **poissons** sont des organismes intégrateurs de leur milieu de vie : mobiles avec un cycle de vie long, l'étude de leurs traits de vie permet d'intégrer les variations de facteurs environnementaux et anthropiques sur de larges échelles (Pont *et al.*, 2011). Les préférences écologiques et la réalisation de leur cycle biologique permettent à l'ichtyofaune de répondre à la fois à des altérations de la qualité de l'eau et du **milieu physique** à des échelles spatiales variées, que ce soit du plus local (habitat) au plus **régional** (bassin versant) (Oberdorff *et al.*, 2002).

Enfin, même si les poissons répondent bien aux altérations hydromorphologiques en termes de sensibilité aux changements et d'intensité de pressions, ce n'est pas l'IPR qui permet de détecter les modifications mais l'étude de métriques plus fonctionnelles (Mazrin *et al.*, 2012). L'utilisation des données piscicoles à un niveau plus fin que la simple analyse de l'IPR est donc nécessaire et sera abordée au sein de ce travail.

(c) Un soutien à l'interprétation de ces données sera apporté par l'analyse de la **physico-chimie**. Les paramètres étudiés sont ceux en lien avec les forces motrices, avec en plus la concentration en chlorophylle-a, témoin de l'activité photosynthétique et par extension, de la potentialité d'eutrophisation. La **température de l'eau** peut être identifiée *a priori* comme étant particulièrement liée à l'hydromorphologie : elle varie selon l'abondance de la ripisylve et de l'ombrage qu'elle fournit, selon les faciès rencontrés (la température augmente dans les eaux calmes, notamment au niveau des retenues), et l'étude de ce paramètre pourra fournir des indications quant au succès éventuel d'opérations ciblées sur des plantations ou encore de l'effacement d'ouvrage.

La liste complète des variables intégrées à l'étude et leur source est disponible en [annexe 4](#).

A quelle finesse d'analyse étudier ces variables ?

Même si l'étude indicielle multimétrique permet déjà une mise en évidence de perturbations anthropiques (Bonada *et al.*, 2006 ; Mazrin *et al.*, 2012), cette approche peut se révéler limitée, en raison d'une perte d'informations rendue inévitable dans la conception de ces indices, et pas assez sensibles à des changements fins du milieu (Malavoi et Souchon, 2010). D'autres approches complémentaires pourront ainsi être appliquées, en particulier l'approche structurelle, basée sur des métriques de structure taxonomique (abondance, diversité, ...). Aussi, quatre métriques les plus

reprises dans la littérature (Doyle *et al.*, 2005 ; Feld et Hering, 2007 ; Friberg *et al.*, 1998 ; Harrison *et al.*, 2004 ; Jähnig *et al.*, 2009 ; Mazrin *et al.*, 2012) seront utilisées dans cette étude et dont les modalités de calcul sont précisées dans le *tableau II* :

Tableau II : Métriques de composition taxonomique
p_i : fréquence relative

Métriques de composition taxonomique	Abréviation	Calcul
Richesse taxonomique	S	Nombre de taxons
Abondance totale	Q	Nombre total d'individus
Diversité de Shannon	H'	$H' = -\sum p_i \log_2 p_i$
Equitabilité	E	$E = H' / H'_{\max}$ et $H'_{\max} = \log_2 S$

Bien que préférentiellement utilisable sur des listes faunistiques ou floristiques à l'espèce (niveau taxonomique précis de détermination des individus), le calcul de ces indices pour les macroinvertébrés s'effectuera au niveau de détermination de l'IBGN (niveau « famille », en général). C'est en effet le niveau « minimal » de détermination le plus précis disponible et bancarisé à l'Agence.

L'étude approfondie et systématique des listes faunistiques n'est certes pas envisagée dans cette étude en raison notamment de contraintes de temps, mais un regard doit néanmoins être porté pour une meilleure compréhension de l'évolution du système (cf. *IV.1.3*).

Quelle fréquence de données utiliser pour être représentatif/significatif ?

Dans cette étude, la disponibilité des données sera le filtre « bas » pour réaliser les analyses. Le cas idéal pour analyse statistique comporterait des données acquises de façon homogène sur une chronique la plus longue possible, avec une fréquence la plus haute possible. Néanmoins, les données biologiques sont limitantes ici (chroniques, fréquence, ...). Le pas de temps choisi est donc le pas de temps annuel, toutefois utile pour mettre en évidence une tendance d'évolution et s'affranchir du caractère saisonnier de certaines substances.

Le percentile 90 (selon le cas) des données physico-chimiques peut être utilisé comme valeur annuelle, dans la mesure où les organismes vivants sont affectés par des concentrations maximales (principe de la toxicité aiguë). Cette dernière méthode est utilisée dans les évaluations de la qualité physico-chimique de l'eau depuis la grille 1971 et serait cohérente avec les objectifs de l'étude et la méthodologie DCE. Pour la physico-chimie, si le choix de la valeur annuelle ne permet pas d'observer de variations significatives, les données seront traitées par pas de temps plus réduit à pas de temps mensuel, permettant une vision plus complète.

Deux compartiments biologiques, *a priori* les plus liés à l'hydromorphologie, sont pris en compte : les macroinvertébrés, dont la disponibilité en données est maximale et la faune piscicole, organismes intégrateurs des conditions de vie. La physico-chimie sera analysée en soutien de la biologie et en lien avec les forces motrices.

L'étude portera sur les indices biologiques d'évaluation de la qualité, quatre indices de structure taxonomique et sur des valeurs annuelles (d'après la grille 71) ou mensuelles de paramètres physico-chimiques et environnementaux. Au besoin et en fonction du temps disponible, des analyses plus poussées pourront être menées (listes d'espèces, ...).

II.2 Choix des zones test

II.2.1 Critères de sélection

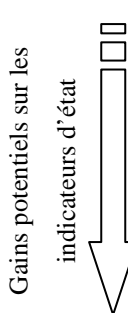
Que souhaite-t-on montrer ?

L'objectif général de cette étude consiste en l'observation d'effets d'opérations de restauration hydromorphologique, particulièrement sur la biologie dont les macroinvertébrés et l'ichtyofaune semblent les compartiments les plus pertinents pour cet objectif.

Biotec et Malavoi (2007) posent le postulat que l'amélioration de la qualité sera d'autant plus importante que **l'état initial est dégradé**. Pour augmenter la probabilité d'observer des modifications dues aux actions de restauration, il est donc préférable de sélectionner des zones présentant, avant la réalisation des opérations de restauration, un milieu physique en mauvais état.

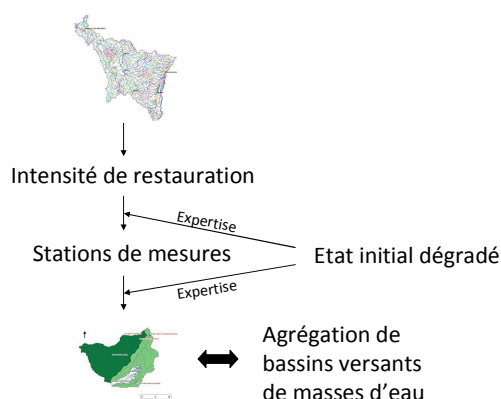
Les données sur l'état du milieu physique ne sont néanmoins disponibles que partiellement au début des années 1990 (étalement du programme d'acquisition de données « QUALPHY » de 1992 à 2004) et sur un linéaire de cours d'eau limité (drains principaux). Cette donnée sera toutefois expertisée dans la mesure où elle fournit une information globale suffisante à l'échelle de BV considérée.

Le premier filtre concerne donc **l'intensité de la levée de pressions sur l'hydromorphologie**, l'hypothèse étant la suivante : l'effet attendu sera d'autant plus important (i) que l'état initial est dégradé et (ii) que le nombre d'opérations, le niveau d'ambition et le nombre d'années d'intervention sont élevés. Plusieurs situations peuvent ainsi être envisagées :

- Gains potentiels sur les indicateurs d'état
- 
- le bassin « BLANC », c'est-à-dire une zone où peu ou pas d'opérations ont eu lieu alors que l'état initial est dégradé.
 - le bassin « INTERM », où l'on observe essentiellement des opérations de gestion de la végétation et des berges sur du long terme ;
 - le bassin « TOP », où l'on observe un nombre élevé de travaux, une chronique longue et des opérations dont l'ambition est progressivement montée en puissance ;

Le deuxième filtre sera le **nombre et la position de stations** de suivi de la qualité qui doivent idéalement être situées à la « fermeture » du bassin versant. Une station à l’amont du bassin versant est également utile à l’appréciation de la continuité écologique ainsi qu’à l’évaluation de la progressivité des effets si des actions ont eu lieu en tête de bassin. L’intérêt de disposer de plusieurs stations dans le bassin versant-test est de mettre en parallèle les observations majeures pour discriminer les effets d’une altération(-) ou d’une restauration (+) à proximité immédiate de la station de mesure.

L’objectif de cette démarche n’est pas de comparer les bassins versants entre eux mais de



tester la viabilité de la méthodologie : la démarche de choix des bassins versants ne permet pas d’avoir des caractéristiques géographiques, physiographiques et anthropiques comparables, *a fortiori* lorsqu’il s’agit de travailler sur une chronique de long terme. Les filtres de sélection sont rappelés ci-après (*fig. 8*), les étapes de sélection des zones-test sont explicitées plus loin.

Figure 8 : Filtrés de sélection d'une zone-test

En bref

Trois catégories de bassin à l’état initial dégradé sont définies d’après l’intensité de restauration: « Blanc » (peu d’actions), « Interm » (interventions classiques), « Top » (opérations nombreuses et de plus en plus ambitieuses).

II.2.2 Choix des zones test

Quelles sont les étapes pour sélectionner une zone-test ?

Le choix de la zone-test tente de répondre au mieux aux critères définis précédemment tout en s’adaptant aux contraintes de disponibilité des données et de la réalité des opérations de restauration réalisées :

(i) **L’historique des opérations** peut être apprécié au moyen de la base de données « Infos Par Travaux » fournie par **Pöyry Environnement** lors du rendu de l’étude de l’actualisation de l’outil QUALPHY (2013). Ce sont ainsi 2998 opérations de travaux soutenues par l’Agence qui ont été identifiées après application de plusieurs filtres : élimination des opérations autres que les travaux, séparation en plusieurs lignes d’opérations comportant des travaux de natures différentes (une aide peut correspondre à plusieurs actions, expliquant la différence avec les 2762 opérations financées).

(ii) La présence de **stations de mesures** de la qualité de l'eau (et de la biologie) sur le bassin choisi doit répondre aux besoins identifiés dans cette note : le choix de bassins se portera en priorité sur ceux ayant des stations à longues chronologies de données biologiques, *a fortiori* pour les invertébrés.

Ce facteur est en effet très limitant au niveau du bassin, les points de prélèvement « macroinvertébrés » étant positionnés sur des petits cours d'eau (prospectables à pied), le plus souvent en tête de bassin versant.

Définition des objectifs et critères de réponse

Sélection au bassin élémentaire (travaux)
• Confrontation avec retours/expertise

Sélection à la masse d'eau

- Travaux
- Stations
- Confrontation avec retours/expertise

Choix définitif

La sélection s'est effectuée selon le schéma ci-dessus, au BV élémentaire puis à la masse d'eau.

Comment choisir les bassins élémentaires ?

A partir des opérations de restauration recensées sur le bassin Rhin-Meuse, la composition d'une première liste pour chaque catégorie de bassin recherchée (« Blanc », « Interm » et « Top ») s'est appuyée sur des valeurs-seuil appliquées pour chaque critère (*tableau III*). Ces seuils ont été définis par rapport à la dispersion de la série des valeurs, et la distribution/position des bassins dans cette série. Il s'agissait de ne choisir que les bassins présentant les valeurs les plus « extrêmes » dans chaque catégorie.

Tableau III : Valeurs-seuil pour la sélection de bassin par catégorie

TOP	Nombre d'opérations > 90 Chronique d'interventions > 17 ans Nombre d'opérations ambitieuses > 2	Les premier et troisième quartiles ont donc été définis comme valeur-seuil pour chaque critère. Leur utilisation est empirique mais permet de répondre aux besoins sur la base d'une analyse fine et opérationnelle de la situation de l'ensemble des bassins élémentaires en Rhin-Meuse.
INTERM	Nombre d'opérations > 90 Chronique d'interventions > 17 ans Aucune opération ambitieuse	
BLANC	Nombre d'opérations < 41 Chronique d'interventions < 12 ans Aucune opération ambitieuse	

Comment choisir les masses d'eau ?

Ainsi, afin de rester pertinent avec les objectifs de l'étude, les critères de sélection de la masse d'eau doivent être cohérents avec ceux du bassin versant élémentaire mais répondre également à des critères propres : les masses d'eau doivent être contiguës (chaînage) et correspondre à une entité hydrographique cohérente. Elles doivent être en outre pourvues de stations de mesure de la qualité de l'eau/biologique à longue chronique de données (en particulier sur les macroinvertébrés benthiques).

Par ailleurs, il semble davantage pertinent de s'intéresser aux têtes de bassin et éventuellement aux cours médians pour plusieurs raisons :

- la majorité des opérations a lieu sur des petits/moyens cours d'eau (masses d'eau « 1 » voire « 2 »), même si une part de ces opérations peut-être due à une surestimation due à la localisation incertaine des travaux ;
- les zones amont des cours d'eau sont des milieux plus réactifs (milieux moins larges, moins profonds) et sont plus susceptibles de répondre aux opérations de restauration ;
- les stations de relevés biologiques sont situées sur des zones prospectables à pied, qui se situent davantage en tête et en cours médians de bassin.

La sélection des masses d'eau s'est donc effectuée à l'aide d'outils SIG de visualisation (intensité des travaux, positionnement de stations), et sur base des données biologiques disponibles.

En bref

Les zones-tests ont d'abord été sélectionnées à l'échelle du bassin élémentaire d'après l'historique des interventions, puis à l'échelle de la masse d'eau en tenant compte des stations de mesure et de la cohérence avec les critères de choix du BV élémentaire.

II.3 Cadre des analyses de données

II.3.1 Caractérisation de l'histoire des pressions et interventions sur le bassin

Comment caractériser les opérations de restauration sur la zone-test ?

Une période de fortes dégradations hydromorphologiques (aménagements hydrauliques entre les années 1950 et 1980) dans le bassin a conduit l'Agence à financer depuis les années 1990 des opérations de restauration du milieu physique des cours d'eau et zones humides. La base de données produite dans le cadre de l'étude d'actualisation des données issues de QUALPHY (Pöyry Environnement, 2013) a permis la localisation d'une grande partie de ces travaux de restauration. Ces actions ont ainsi été rattachées à un tronçon QUALPHY dans un premier temps, et aux masses d'eau correspondant dans un second temps par l'intermédiaire du bassin élémentaire.

Comment caractériser l'évolution des pressions agricoles et des pressions liées aux rejets des collectivités ?

Afin d'évaluer ces forces motrices, il est possible de s'intéresser aux indicateurs de pression (*e.g.* la démographie, les surfaces urbaines, pour les collectivités, ou le type d'agriculture, l'occupation du sol, pour l'agriculture) mais également aux leviers qui permettent une diminution de ces pressions (leviers réglementaires, financiers, ...). En première approche, l'analyse est menée au niveau national et au niveau du bassin Rhin-Meuse. Les grandes évolutions (outils réglementaires, plans d'actions, ...) de ces forces motrices sont ainsi identifiées dans les frises chronologiques suivantes (*fig. 9 et 10*) :

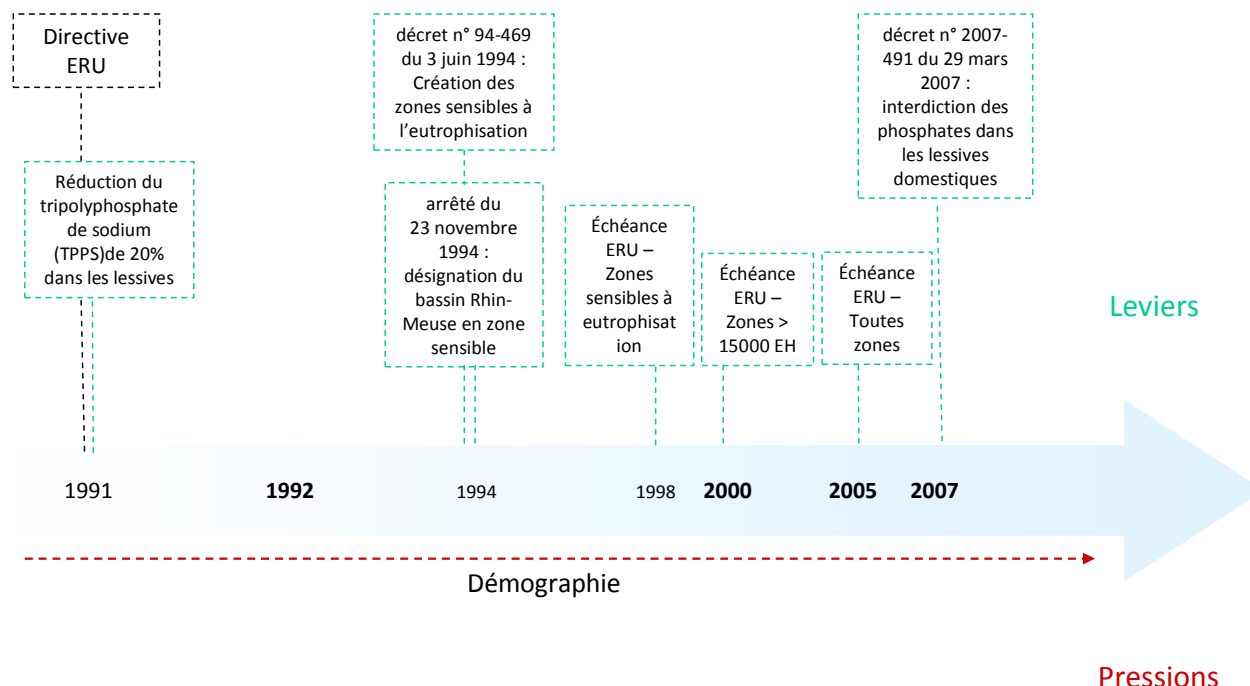


Figure 9 : Chronologie des pressions et leviers liés à l'assainissement des collectivités en France

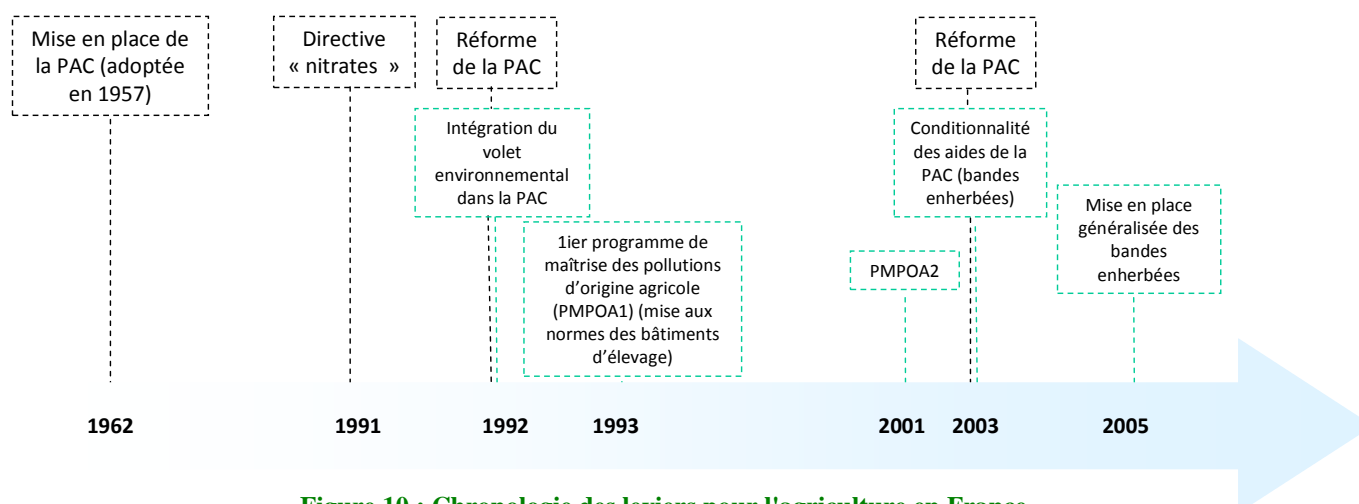


Figure 10 : Chronologie des leviers pour l'agriculture en France

Cette première approche permet de dégager certaines hypothèses de tendances ou ruptures d'évolutions des pressions (augmentation de l'assainissement immédiatement après 1992 ou après 2005, en lien avec les exigences de la **Directive Eaux Résiduaires Urbaines (ERU)**, mise en place des bandes enherbées en lien avec la Politique Agricole Commune (PAC) et la **Directive Nitrates**...

L'analyse plus locale de l'évolution des pressions s'effectuera sur chaque zone-test par thème selon la disponibilité de la donnée, sur la base des descripteurs identifiés dans le paragraphe **1.3.2**. Par ailleurs, les données sur l'industrie ont été occultées à ce niveau (étude complexe à l'échelle nationale et même du bassin) mais feront l'objet d'analyse au cas par cas.

En bref

La description des pressions associées aux forces motrices au niveau national permet une première approche du contexte général de l'étude qui sera approfondie à l'échelle de la zone-test. Cette démarche vise à fournir des éléments généraux de compréhension susceptibles d'expliquer l'évolution de la qualité des milieux aquatiques

II.3.2 Caractérisation des données « témoins »

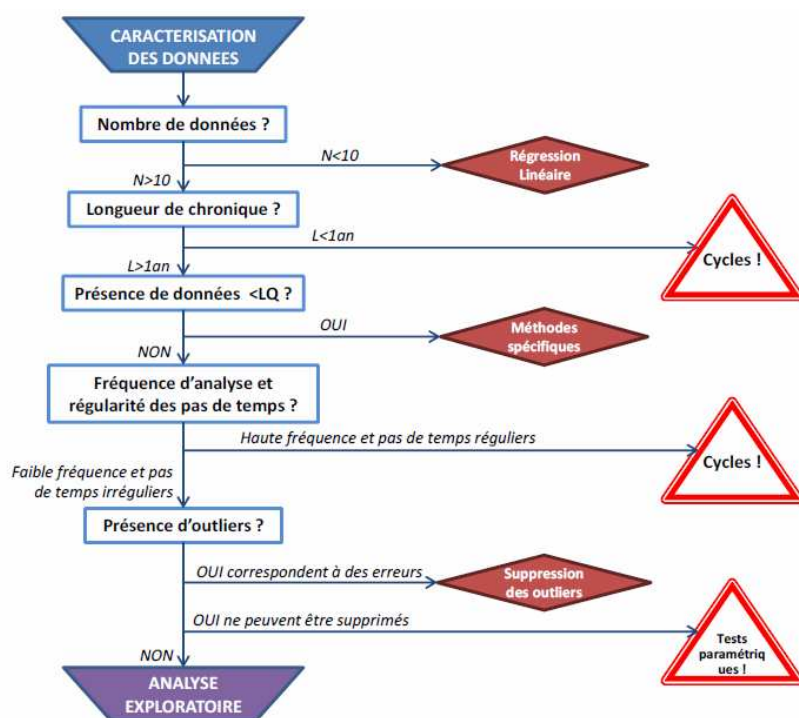
Comment mettre en évidence des « mouvements » dans les chroniques ?

Lopez *et al.* (2011) ont dressé une synthèse bibliographique pour l'établissement d'une méthodologie pour faire ressortir des tendances d'évolution de concentrations de polluants des eaux souterraines. Le paragraphe suivant s'inspire directement de ces travaux pour la mise en place d'une procédure d'analyse des données s'appliquant au domaine de la restauration hydromorphologique.

Cette démarche s'articule en 4 étapes : la caractérisation des données, l'analyse graphique des données, l'analyse statistique et la détermination des facteurs explicatifs. Pour chaque étape, l'adaptation au contexte de l'étude est obligatoire (caractéristiques différentes des analyses effectuées sur les eaux souterraines).

Statistiques descriptives

La caractérisation des données peut, pour commencer, s'appréhender par des statistiques simples qui permettent de décrire le jeu de données. Cette première description (*fig. 11*) de la chronique des



données disponibles est un cadre pertinent pour choisir les meilleures approches et identifier les limites d'application de procédures statistiques.

Les calculs de ces statistiques sont effectués par station et par paramètre pour avoir une première approche du jeu de données. Sont déterminés ainsi la moyenne, l'écart-type et la variance, la médiane, le minimum et le maximum, et les quantiles caractéristiques (quartiles, centiles).

Figure 11 : Schéma de caractérisation des données brutes (Lopez *et al.*, 2011)

Analyses exploratoires

Les analyses exploratoires sont indispensables à la compréhension de la structure des données sur les paramètres. Selon différents critères auxquels elles essaient de répondre (les données sont-elles **distribuées normalement** ? Sont-elles **autocorrélées** ? Présentent-elles une **cyclicité** ? ...), ces analyses permettent le choix des tests statistiques à appliquer ou le cas échéant, mettent en évidence les faiblesses du jeu de données et les stratégies à adopter.

En préalable à l'analyse statistique, la structure des données biologiques et physico-chimiques doit être décrite. Il s'agit notamment de connaître le nombre, la longueur de chronique, la fréquence, la distribution et l'autocorrélation pour l'application de tests adaptés.

II.3.3 Recherche de tendances dans l'évolution de la qualité des milieux

D'après les constats effectués précédemment, la difficulté majeure rencontrée dans cette étude réside en une très grande hétérogénéité des données en termes de sources, continuité dans les méthodes de prélèvements, de fréquence et nombre d'analyses, et de types de données (variables biologiques, physico-chimiques et environnementales, ...).

Les approches statistiques doivent ainsi s'adapter au mieux à la **diversité des données** utilisées.

Quelles sont les hypothèses statistiques à tester ?

Les hypothèses statistiques peuvent être posées après détermination visuelle : existe-t-il une tendance globale sur la série, ou à l'inverse, peut-on mettre en évidence une rupture de tendance ?

Les tests de tendance ont comme hypothèse H_0 la stationnarité de la chronique (si H_0 est rejetée, l'hypothèse H_1 est acceptée au risque α : la chronique n'est pas stationnaire) alors que les tests de rupture de tendance ont pour hypothèse H_0 l'absence de rupture. C'est donc après avoir examiné la chronique $y=f(t)$ que l'on pose les hypothèses qui semblent les plus appropriées à la courbe.

Comment montrer des différences, des améliorations, des détériorations ?

L'objectif premier est d'essayer de mettre en évidence des tendances d'évolution, à la fois sur la biologie, cible de l'étude, mais aussi sur la physico-chimie en avec les organismes vivants et les différentes pressions sur l'hydrosystème. La méthodologie de Lopez *et al.* (2011) fournit un arbre de décision (*fig. 12*) quant au choix des tests à appliquer selon les jeux de données caractérisés au préalable. L'idée est ainsi d'identifier (ou non) si des évolutions significatives ont lieu en lien avec les opérations de restauration (et les autres types de pressions).

Les tests de détection de tendance ou de rupture de pente utilisés dans cette étude ont bénéficié de la mise en place d'un outil développé sur le logiciel R et faisant suite à l'étude de Lopez *et al.* Les principes de ces tests sont rappelés en *annexe 5*.

Il est indispensable de préciser ici que le fait de ne pas montrer de tendance **ne signifie pas qu'elle n'existe pas**, mais bien que les données utilisées sont insuffisantes pour détecter des mouvements dans les chroniques, en particulier pour les données biologiques (finesse des données, fréquence de prélèvements, longueur de chronique, ...) (Lopez *et al.*, 2011). Ce type de résultat peut

ainsi amener à se questionner sur les limites des données disponibles et les perspectives en la matière (acquisition supplémentaire, analyse plus détaillée...)

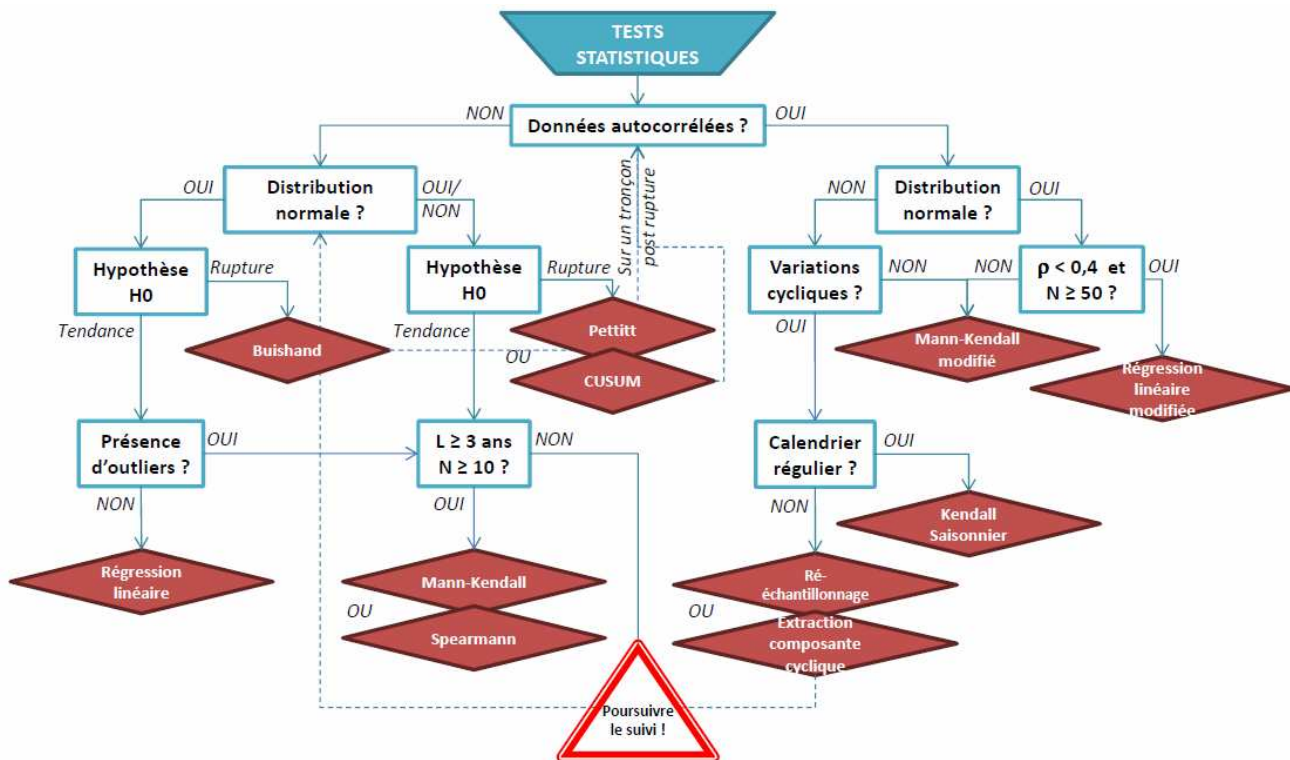


Figure 12 : Arbre de décision des procédures statistiques selon la structure des données (Lopez et al., 2011)

Quelles sont les méthodes statistiques complémentaires ?

Les **analyses en composantes principales** (ACP) appartiennent au domaine de l’analyse exploratoire et permettent de dresser un bilan de ressemblances d’individus ou encore de liaisons de variables. Cette méthode essentiellement **descriptive** cherche à résumer un maximum d’information par un nombre plus faible de variables synthétiques (association de variables explicatives) que l’on appelle les composantes principales.

Une ACP par station est réalisée en classant les individus (ici l’ensemble station/date/valeur) soit par année, soit par situation avant/après rupture le cas échéant. Pour maximiser l’information apportée par les variables, le nombre d’axes a été conservé suivant le critère de Kaiser, c’est-à-dire lorsque l’inertie est supérieure à 1 (Hayot, 2011).

La significativité du modèle obtenu peut être testée par le biais d’un **test des permutations** (test de Monte Carlo) qui remanie les données de façon aléatoire un très grand nombre de fois (999 fois, valeur par défaut du logiciel), et permet de conclure sur le fait qu’il existe une différence parmi les centres de gravité des ellipses obtenues par classement. Si le classement est réalisé sur deux modalités, une *p-value* inférieure au risque α indique une différence significative entre les deux modalités.

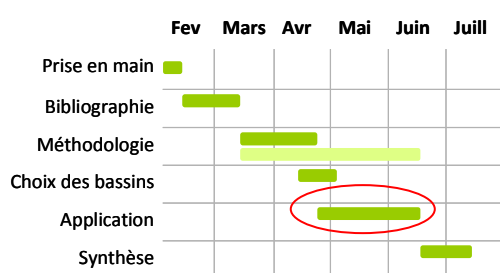
Comment interpréter les informations recueillies ?

Les résultats des tests statistiques à eux seuls ne répondent qu'à des hypothèses posées initialement. L'interprétation de ces résultats ne peut pas se détacher du contexte dans lequel les données ont été analysées. C'est essentiellement la **mise en parallèle** des frises chronologiques des pressions et levées de pressions avec les tendances ou ruptures de pentes mises en évidence qui permettra une **première approche** des facteurs explicatifs des résultats observés.

En bref

Des tests d'identification de tendances et de ruptures de pentes sont mis en œuvre sur les données biologiques et physico-chimiques en accord avec la structure des données. Une méthode complémentaire (ACP) permet de décrire l'évolution de la physico-chimie, notamment avant et après rupture. L'interprétation des résultats doit se faire en parallèle des pressions et levées de pressions identifiées au préalable.

III. Résultats



Ce chapitre fait directement suite au travail de méthodologie effectué depuis le mois de mars. L'application des outils définis dans le chapitre précédent a permis en parallèle d'écarter certains choix au profit des plus pertinents, et d'ajuster la procédure pour la suite de l'étude et de tirer des premiers enseignements au regard des résultats obtenus sur les bassins-test..

III.1 Bassin de l'Yron

Le bassin élémentaire Ferrifère-Rhin est apparu comme présentant toutes les caractéristiques associées à la zone « TOP ». L'étude à l'échelle plus réduite de la masse d'eau n'a cependant pas permis de dégager un « intra » bassin répondant de manière totalement satisfaisante aux différents critères requis, notamment en termes de données « invertébrés » (jeu de données trop restreint).

L'adaptation à cette contrainte aurait nécessité de réduire la chronologie d'analyse couvrant ainsi une période plus récente sur laquelle l'historique des travaux n'est pas complètement pris en compte. Ces adaptations conduisent à ne plus tout à fait répondre aux critères initiaux de la zone « TOP » et la situation se révèle moins contrastée que prévu avec la situation « INTERM » pour laquelle un autre bassin (cf. III.2.1) répond davantage à la méthodologie définie. L'Yron n'est donc pas étudié de manière plus approfondie dans le cadre de ce travail.

III.2 Bassin de la Meuse amont

III.2.1 Choix du bassin « Interm »

Le bassin de la Haute-Meuse s'est dégagé comme bassin « INTERM ». Les masses d'eau les plus amont (Meuse 1 et 2 et Flambart pour une surface de 446 km²) sont conformes aux critères de sélection : un long historique d'interventions « classiques » sur la végétation, et un positionnement de stations pertinent à longue chronique de données invertébrés (*tableau IV*).

Tableau IV : Masses d'eau et stations de la zone INTERM-MEUSE. *Ne sont mentionnées dans ce tableau que les stations ayant fait l'objet d'analyses.*

Code Masse d'eau	Nom Masse d'eau	Numéro national	Nom station	Chronique invertébrés	Chronique poissons
FRB1R470	MEUSE 1	02106500	la Meuse à Bassoncourt	1993 à 2011	1994 à 2010
		02106550	le Flambart à Breuvannes-en-Bassigny	1993 à 2005	
FRB1R471	MEUSE 2	02106600	la Meuse à Goncourt	1993 à 2011	2008 et 2010
FRB1R484	FLAMBART				

Depuis sa source à Pouilly-en-Bassigny jusque Goncourt, station aval de cette étude, la Meuse s'écoule en zone rurale sur plaine argileuse. Le secteur a été très dégradé jusque dans les années 1980. Les Conseils Généraux de Haute-Marne et des Vosges et l'Agence de l'eau oeuvrent depuis le début des années 1990 à l'arrêt des pratiques dégradantes (des curages) et à la gestion/diversification de la végétation des berges. À noter que de nombreux seuils sont présents sur la Meuse y compris dans sa partie la plus amont.



De gauche à droite : *la Meuse à Lénizeul ; La Meuse à Bourmont et le barrage du « Qui qu'en grogne » ; la Meuse à Levécourt*

Les deux premières photographies ci-dessus illustrent la problématique initiale rencontrée sur la Meuse : des secteurs nus en ripisylve aux berges non stabilisées, des ouvrages transversaux qui bloquent toute circulation sédimentaire et biologique. Des opérations de plantations ont toutefois été réalisées sur un linéaire important dont on observe actuellement les effets (à droite).

De par la disponibilité maximale en données au regard des autres bassins, ce bassin a été l'objet d'une attention particulière tant pour l'élaboration de la méthodologie (logique de tests statistiques) que dans l'application des outils et l'analyse des résultats.

Le bassin étudié est figuré sur la carte ci-après (fig. 13).

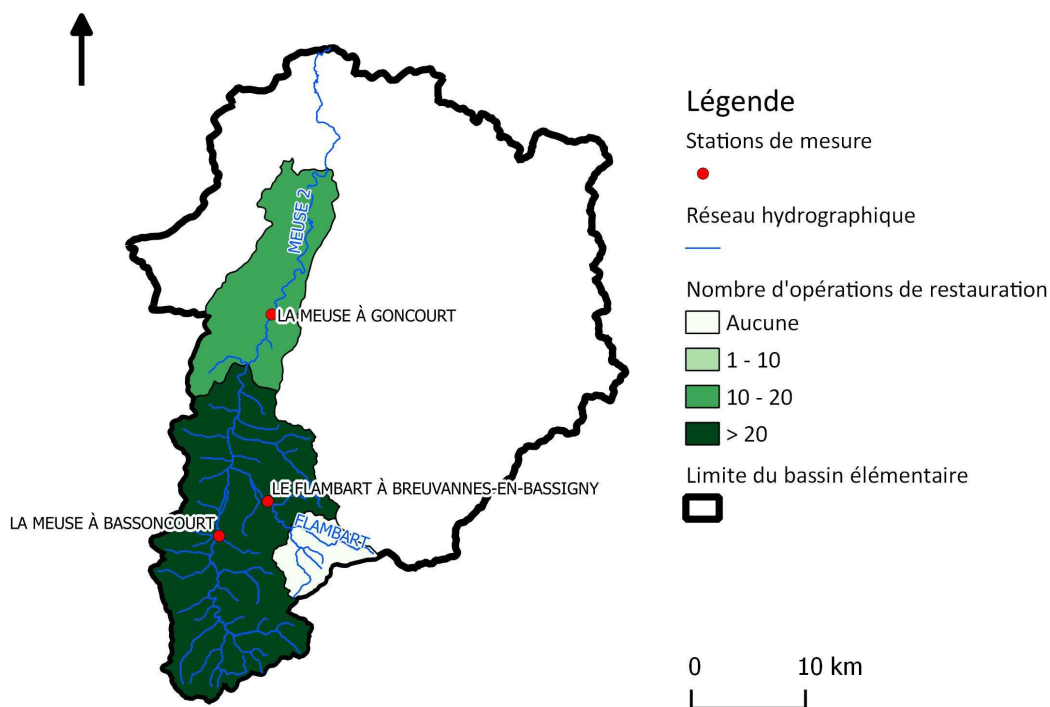


Figure 13 : Masses d'eau et stations sélectionnées sur le bassin Haute-Meuse

III.2.2 Frise contextuelle

Les données contextuelles relatives aux différentes forces motrices (restauration hydromorphologique, assainissement, agriculture) ont été regroupées sous forme de frises chronologiques replaçant les éléments majeurs à prendre en compte.

La figure ci-après (fig. 14) replace le bassin de la Meuse amont dans son contexte de pressions et de « levées de pressions ».

Les opérations de restauration morphologique ont débuté dès les années 1990. Les travaux ont essentiellement concerné de la gestion de végétation, avec une accentuation de ces opérations en 2000. Les autres interventions identifiées concernent les zones humides et des actions ponctuelles de restauration plus fonctionnelle du lit et des berges.

L'année 2000 ressort singulièrement avec 14 opérations financées, interventions sur la végétation majoritairement dues à la tempête Lothar en 1999 qui a mis à mal la ripisylve (chute de nombreux arbres dans le lit). Une absence d'interventions est mise en évidence de 2004 à 2007.

On identifie trois périodes d'assainissement dans la zone : avant 1980, avec l'épuration de 11,5% de la population, entre 1990 et 2000 avec une forte augmentation de la part de la population épurée (37,4% en 1998), et après 2000 où la population à l'aval de la zone-test est davantage concernée par le traitement des eaux usées. Actuellement, le total cumulé n'excède toutefois pas la moitié de la population.

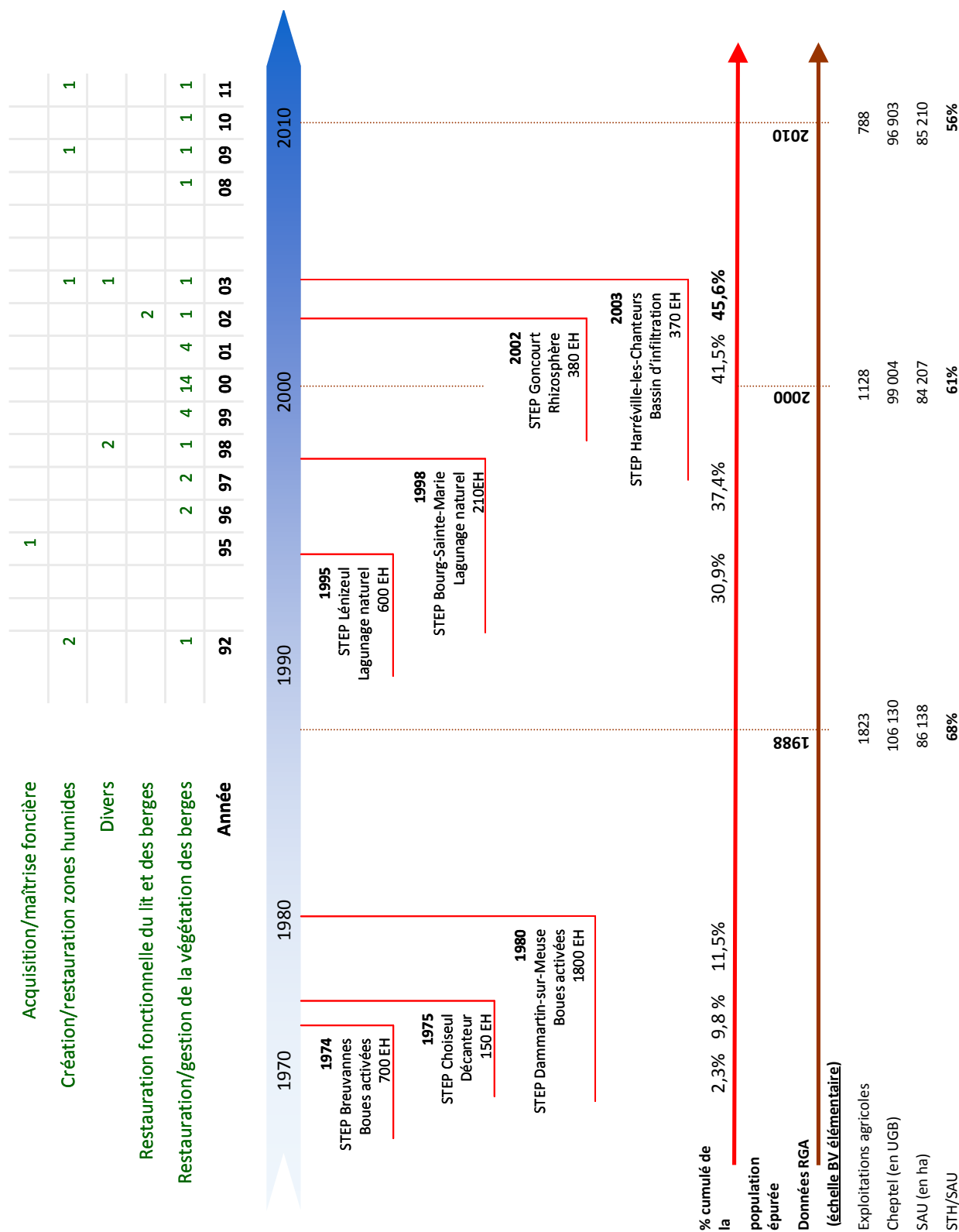


Figure 14 : Frise des données contextuelles du bassin de la Meuse amont (sources : AERM, CLC, RGA)

Le *tableau V* reprend les grands types d'occupation du sol selon Corine Land Cover, qui n'ont pas pu être intégrées à la frise chronologique.

Au regard des données, la mise en culture semble progresser entre 1990 et 2006 au détriment des prairies. Néanmoins, la surface des milieux à végétation arbustive augmente et tend à compenser la perte de surface prairiale

Tableau V : Occupation du sol selon le niveau 2 de Corine Land Cover (en %) de la zone-test Meuse-amont

	1990	2000	2006
Zones urbanisées	1,99%	1,99%	2,04%
Zones industrielles ou commerciales et réseaux de communication	0,81%	0,81%	0,82%
Mines, décharges et chantiers	0,04%	0,04%	0,04%
Terres arables	21,49%	22,16%	22,53%
Prairies	50,10%	49,49%	48,87%
Zones agricoles hétérogènes	1,27%	1,21%	1,38%
Forêts	24,11%	23,94%	23,82%
Milieux à végétation arbustive et/ou herbacée	0,12%	0,29%	0,43%
Eaux continentales	0,07%	0,07%	0,07%

On note d'après le *tableau V* et la *figure 14* une concordance dans l'évolution des pratiques agricoles à des échelles différentes (zone-test et bassin élémentaire) : la tendance semble à la diminution des surfaces en herbes et notamment des prairies au profit des cultures plus intensives

III.2.3 Résultat des analyses

III.2.3.1 Indicateurs biologiques

Les graphiques repris ci-après sont les plus représentatifs des situations, respectivement à Bassoncourt (station amont) et à Goncourt (station aval). La station de Breuvannes-en-Bassigny, bien qu'ayant fait l'objet d'analyses, n'apporte aucune information supplémentaire et n'est donc pas intégrée à ces résultats.

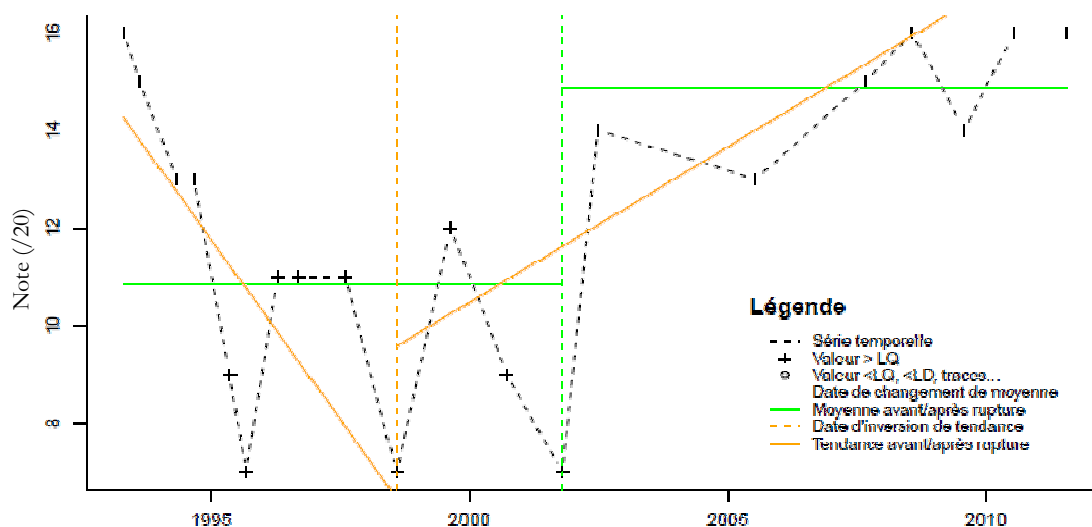


Figure 15 : Tendances d'évolution de l'indice "continu" invertébrés sur la Meuse à Bassoncourt

À Bassoncourt, aucune tendance continue et linéaire n'a été mise en exergue sur l'indice biologique et sous-indices associés (*fig. 15* et *annexe 6*). En revanche, deux types de ruptures dans la chronique ont été identifiés : un changement de moyenne en 2001 et une inversion de tendance en 1998.

Les dates des ruptures sont sensiblement différentes et n'ont *a priori* pas de signification écologique liée à un phénomène particulier, mais le sens des changements est identique : on observe une hausse de l'indice continu après la rupture. Ces mouvements sont identiques pour les sous-indices associés, avec une amélioration après rupture du GFI et de la variété taxonomique.

Les indices de structure taxonomique sur la Meuse à Bassoncourt ont subi les mêmes traitements statistiques. Les paramètres relatifs à la faune piscicole présentent des tendances significatives à la hausse (richesse, abondance) ou à la baisse (équitabilité).

La *figure 16* met en avant une tendance linéaire à la hausse de l'indice continu « invertébrés » (par régression linéaire, test paramétrique) à Goncourt.

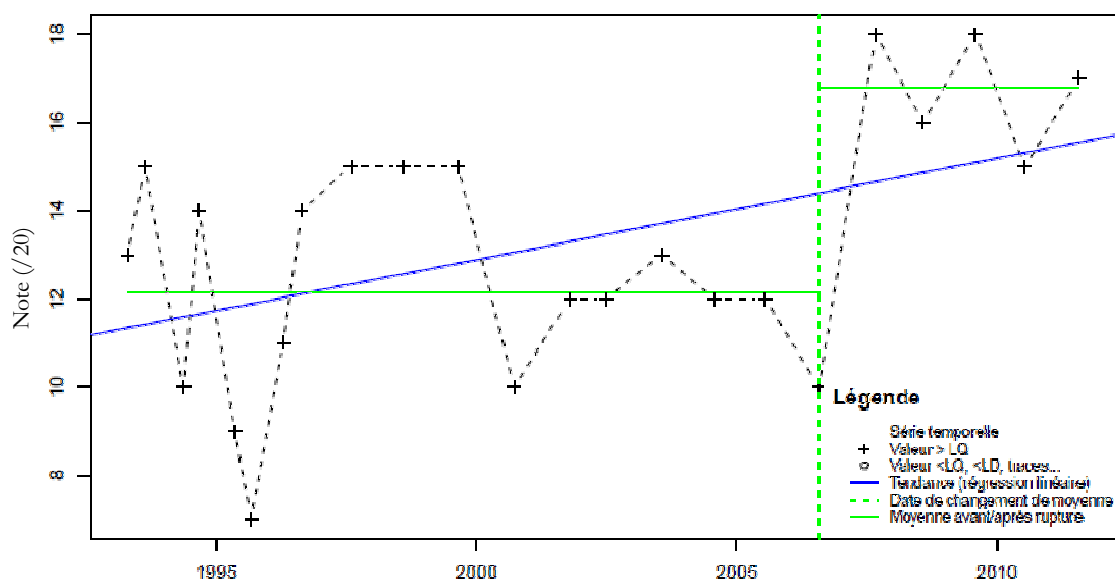


Figure 16 : Tendances d'évolution de l'indice "continu" invertébrés sur la Meuse à Goncourt

Cette hausse est également observée pour le GFI. Des ruptures de tendance sont également observées au niveau de ces indices biologiques ainsi que sur la chronique de la variété taxonomique, et qui vont dans la même direction que les tendances (hausse des valeurs). Les indices de structure taxonomiques présentent en revanche une rupture dans la chronique avec une diminution de la moyenne après la cassure.

Le *tableau VI* résume les tendances et ruptures de pente mises en évidence pour les indices biologiques et indices de structure taxonomique sur la Meuse à Goncourt et à Bassoncourt.

Tableau VI : Résultats des tests significatifs au seuil $\alpha = 0,05$ pour les métriques biologiques sur la Meuse

N° National	Tendances		Date de rupture de moyenne		Moyennes avant-après rupture	
	02106500	02106600	02106500	02106600	02106500	02106600
Indice Continu		↗	2001	2006	10,85 - 14,86	12,17 - 16,8
GFI Continu		↗	2001	2006	4,08 - 5,86	4,7 - 6,4
Variété taxonomique continue				2006		29,06 - 40,6
S_INV	↗		2001	1999	25,6 - 36,9	48,7 - 33
Q_INV				2001		4733 - 2628,5
S_POI	↗		2000		10 - 15,3	
Q_POI	↗		2005		938 - 5454	
E_POI	↘					

Les indices relatifs à la biologie examinés ici font apparaître une tendance à la hausse, hormis l'équitabilité calculée pour l'ichtyofaune à Bassoncourt qui diminue sur la chronique. Cette baisse indique la dominance d'une ou plusieurs espèces qui s'accroît avec le temps.

Des ruptures dans l'évolution apparaissent au niveau des indices biologiques. Bien que le niveau d'analyse soit moins fin que celui des indices de structure taxonomique, le nombre de données utilisé pour la réalisation des tests statistiques est plus important dans le premier cas, la robustesse en est alors plus grande. Les changements de moyenne identifiés avant et après ruptures sont eux aussi orientés vers une hausse, hormis la richesse et l'abondance en invertébrés à Goncourt.

Les indices biologiques « invertébrés » ont mieux répondu que les indices de structure taxonomique. La raison est sans doute le nombre de données utilisées, plus faible dans le second cas. La différence observée entre les deux indices de variété taxonomique à Goncourt s'explique également par un nombre différent de données utilisées pour la mise en œuvre des tests.

La totalité des chroniques d'indices biologiques sur la Meuse (*annexe 6*) fait apparaître une chute en 1995 et 1996. Par ailleurs, les *outliers* (valeurs extrêmes) des données physico-chimiques recensés sur les stations de Bassoncourt et Goncourt sont observés en fin de période estivale en 1995 et 1996.

III.2.3.2 Listes faunistiques

Au-delà de l'analyse indiciaire, les listes faunistiques et en particulier piscicoles permettent d'apporter des informations qualitatives sur le milieu. La *figure 17* reprend sous forme de matrice les données de pêche de la Meuse à Bassoncourt depuis 1994.

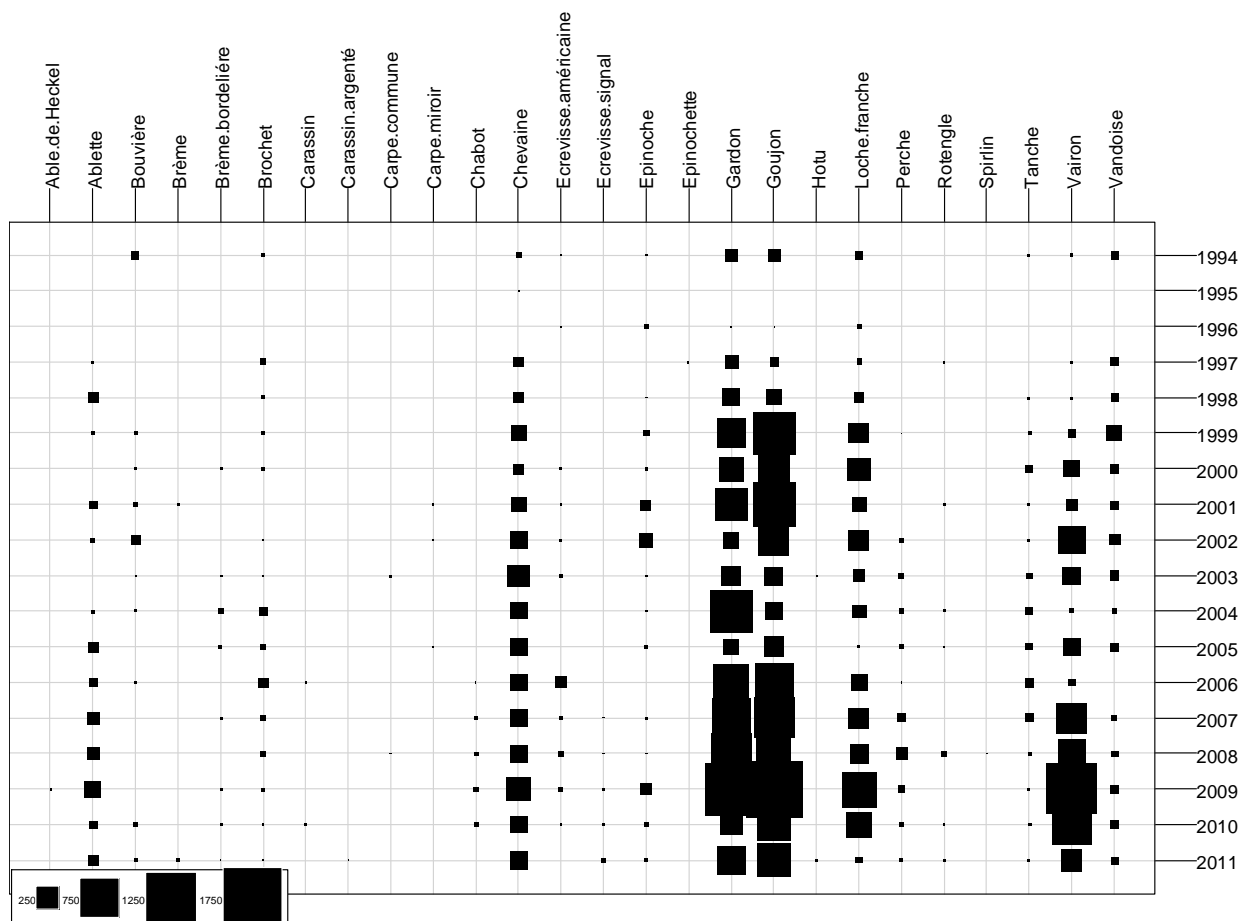


Figure 17 : Données de pêche de la Meuse à Bassoncourt

On note notamment une évolution vers une augmentation des effectifs de plusieurs espèces, notamment le goujon et le gardon qui dominent les peuplements (expliquant en outre la baisse de l'indice d'équitabilité), et le vairon dont le nombre d'individus explose à partir de 2007. Les effectifs de chevaines, d'ablettes et de loches franches semblent en légère progression depuis la fin des années 1990.

Certaines espèces apparaissent ponctuellement comme le spiralin, les carassins, la brème ou encore la carpe commune. Ces présences semblent presque accidentelles, alors que d'autres apparaissent plus durablement (chabot, perche, tanche).

On note par ailleurs la présence de deux espèces exotiques envahissantes, l'écrevisse signal et l'écrevisse américaine. Les années 1995 et 1996 ressortent avec une absence quasi complète d'individus de la même façon que les indices biologiques s'effondrent.

III.2.3.3 Physico-chimie

Le *tableau VII* reprend les principaux résultats de tendances identifiées entre 1992 et 2011 sur les stations de l'étude.

Tableau VII : Tendances significatives au seuil $\alpha=0,05$ des paramètres physico-chimiques sur la Meuse

Paramètre\ N° National	Meuse	
	02106500	02106600
Ammonium	↘	↘
Azote Kjeldahl	↘	↘
Chlorophylle a	↘	↘
D.C.O.	↘	↘
DBO5 à 20°C	↘	↘
Matières en suspension	↗	
Nitrates	↘	
Orthophosphates	↘	↘
pH	↗	
Phosphore total	↘	↘
Température de l'Eau	↘	↘

On note très globalement une tendance à la baisse de la plupart des macropolluants, exceptés les MES à Bassoncourt. Le pH s'alcalinise légèrement également sur cette station. Hormis pour les nitrates qui ne voient leur concentration diminuer significativement qu'à Bassoncourt, toutes les tendances à la baisse sont confirmées sur les deux stations.

Aucune tendance n'a été détectée pour les nitrites et les paramètres d'oxygène dissous. La température est également un paramètre environnemental dont la tendance est à la baisse, de façon marquée sur la Meuse (-0,0831°C/an à Bassoncourt et -0,165°C/an à Goncourt, voir *annexe 7*).

Les ruptures identifiées par les analyses statistiques au niveau des indices biologiques (2001 pour Bassoncourt, et 2006 pour Goncourt) sont conservées pour les ACP afin de confirmer ou non les hypothèses d'évolution du milieu.

La *figure 18* présente les résultats de l'ACP réalisée à Bassoncourt, sur la station amont.

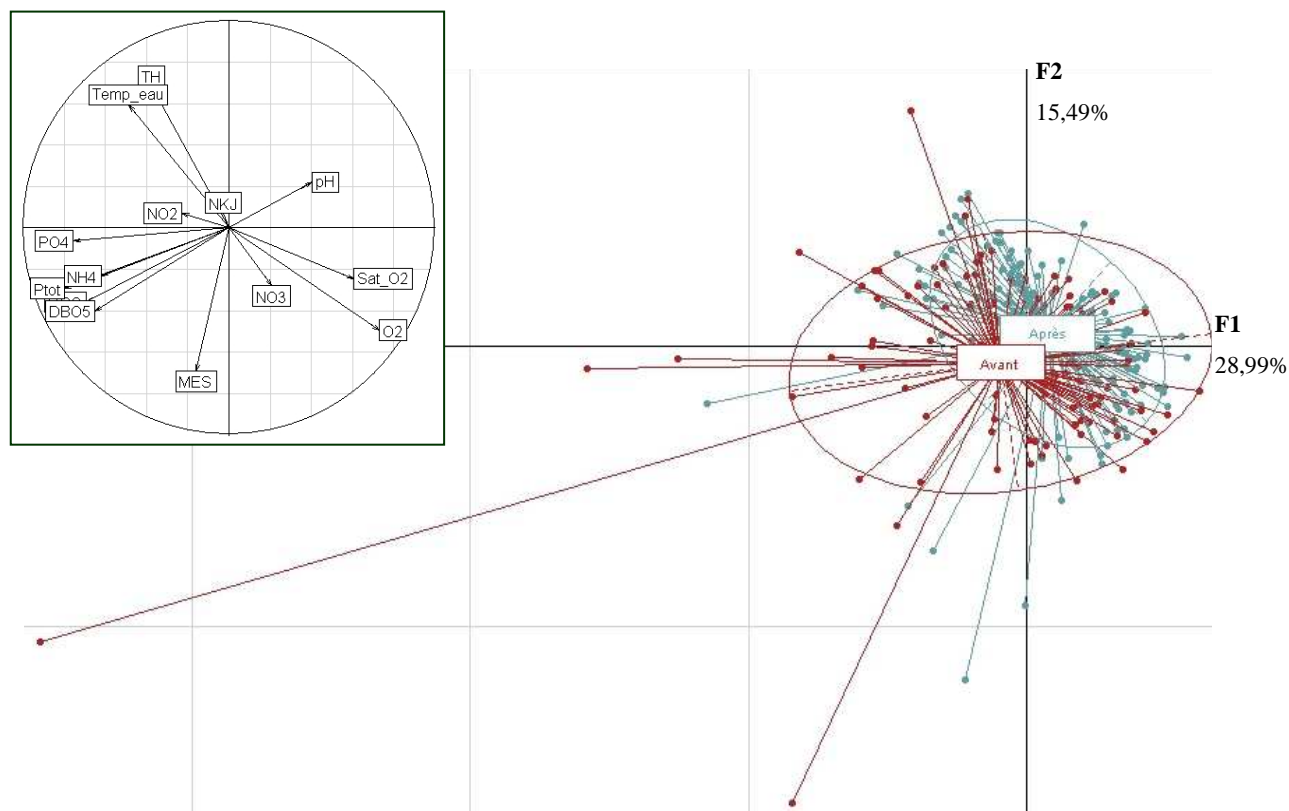


Figure 18: Classement des individus par ACP avant et après changement de moyenne (2001) sur la Meuse à Bassoncourt

Le plan factoriel composé des axes 1 et 2 explique 44,48% de la variance. Le premier axe est fortement corrélé négativement avec les différentes formes du phosphore et les paramètres liés à la matière organique et les nutriments (DCO, DBO5, ammonium). Le facteur est corrélé positivement avec les paramètres d'oxygénation du milieu. Le deuxième facteur montre une corrélation forte et négative avec les MES, la dureté de l'eau et la température. Les profils des coordonnées des variables et les résultats associés aux ACP sont regroupés en *annexe 8*.

Le troisième axe est quant à lui fortement corrélé positivement avec les formes azotées oxydées (nitrates, nitrites) et négativement avec le pH et la saturation en oxygène. L'évolution avant-après tend à montrer une légère diminution des paramètres azotés, même si les mouvements semblent plus importants sur l'axe 2.

La *figure 19* ci-après présente les résultats de l'ACP réalisée à Goncourt, sur la station aval.

Les axes 1 et 2 expliquent 42,98% de la variance du modèle. L'axe 1 est ici fortement corrélé négativement avec les paramètres « phosphore » (orthophosphates et phosphore total) mais également avec la température. La corrélation est positive avec les nitrates et les paramètres d'oxygénation de l'eau. L'axe 2 est fortement lié aux MES, à la DCO et la DBO5.

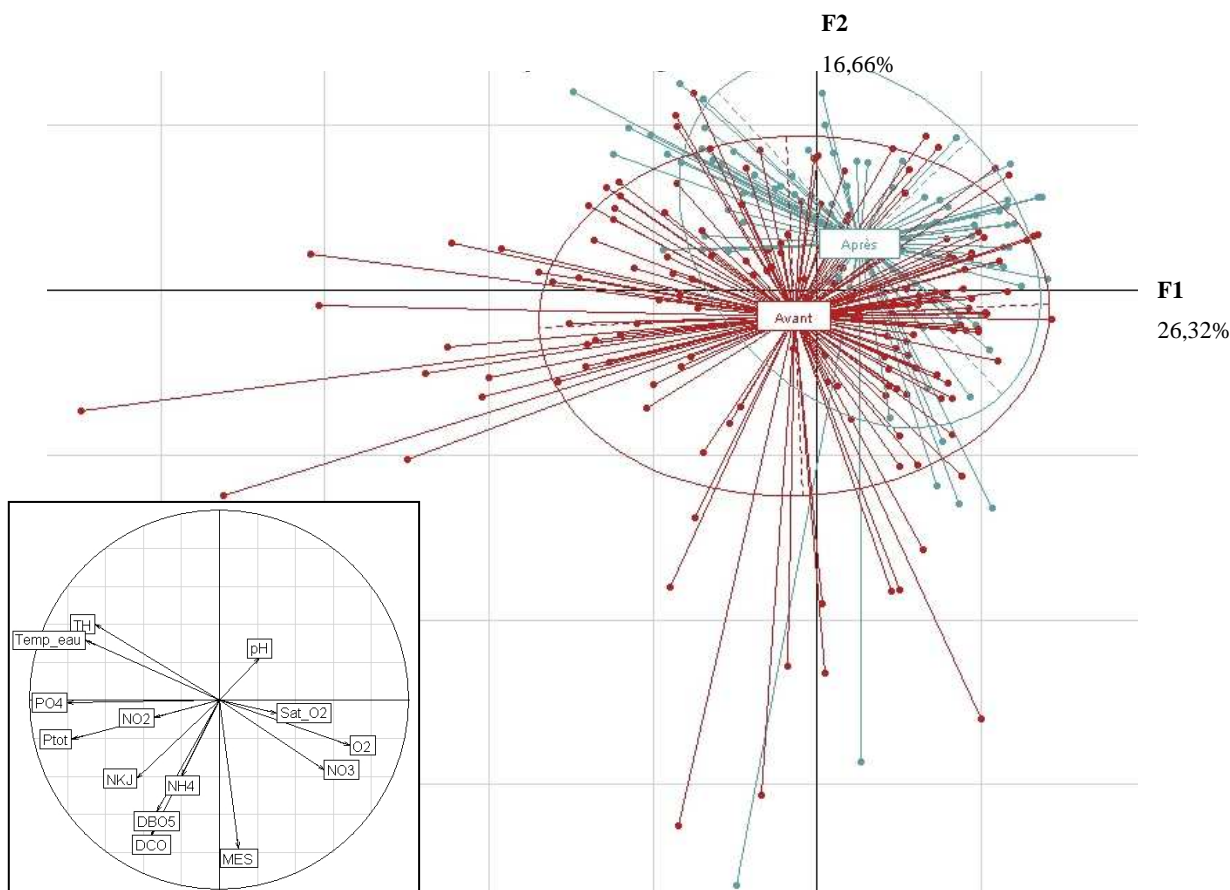


Figure 19 : Classement des individus par ACP avant et après changement de moyenne (2006) sur la Meuse à Goncourt

L'évolution des paramètres physico-chimiques de la Meuse à Goncourt semble se faire de façon plus marquée sur l'axe 2, vers une diminution des paramètres liés à la matière organique, et également dans le positif sur l'axe 1 (diminution des teneurs en phosphore, diminution de la température, amélioration des conditions d'oxygénation de l'eau).

Le test de Monte Carlo permet de discriminer pour les stations de Bassoncourt et Goncourt l'état physico-chimique avant et après rupture (*p-values* estimées à 0,001). Il existe donc pour la physico-chimie une différence significative avant et après rupture identifiée par les tests de changement de moyenne. L'évolution de la composition physico-chimique de la Meuse entre 1992 et 2011 semble aller vers une eau moins riche en phosphores et en matière organique (axe 1).

III.3 Bassin de la Vezouze amont et médiane

III.3.1 Choix du bassin « Blanc »

Le bassin de la Vezouze amont correspond aux critères recherchés pour la catégorie « BLANC » : un faible nombre d'interventions, réalisées de manière ponctuelle, et des stations de mesures pertinentes. La zone comporte 7 masses d'eau de petite taille (Vezouze 1 à 3, Blette 1 et 2 et Verdurette 1 et 2 pour une superficie totale de 522 km²) et deux stations répondant aux besoins (*tableau VIII*).

Tableau VIII : Stations de la zone BLANC-VEZOUZE. *Ne sont mentionnées dans ce tableau que les stations ayant fait l'objet d'analyses.*

Code d'eau	Masse d'eau Nom Masse d'eau	Numéro national	Nom station	Chronique invertébrés	Chronique poissons
FRCR306	VERDURETTE 2	02067600	La Verdurette à Réclonville	1993 à 2011	
FRCR286	VEZOUZE 3	02067800	La Vezouze à Thiébauménil	1993 à 2011	1993 à 2011

La Vezouze prend sa source dans le massif du Donon sur les grès vosgiens du Trias et s'écoule par la suite sur le plateau Lorrain. C'est un affluent de 75 km de long de la Meurthe en rive droite où elle se jette à l'aval de Lunéville.

Elle a une activité morphodynamique importante, à lit mobile qui méandre dans la plus grande partie de son linéaire et dont le dynamisme peut, par reprise naturelle, masquer certaines altérations d'origine anthropique. Elle diffère beaucoup en cela de la Meuse amont, où les cours d'eau présentent une très faible dynamique.



De gauche à droite : la Vezouze à Saint-Martin ; la Vezouze à Domjevin ; la Vezouze à Thiébauménil (amont)

Les illustrations ci-dessus révèlent un cours d'eau rectifié (rectifications importantes jusque dans les années 1980 pour gérer les crues et les inondations) avec une ripisylve parfois absente et en mauvais état, aux berges abruptes et un lit souvent élargi (à gauche et au milieu). L'énergie du cours permet toutefois de recréer des conditions morphologiques intéressantes (à droite). Une problématique majeure de la Vezouze reste la présence de nombreux ouvrages transversaux.

L'étude de la zone-test de la Vezouze a permis de consolider les choix établis dans la

méthodologie en les appliquant sur un second bassin. Le niveau d'analyse a toutefois été moindre que celui de la Meuse.

Le bassin étudié est repris en *figure 20*.



Figure 20 : Les masses d'eau et stations sélectionnées sur le bassin Vezouze-Sânon

III.3.2 Frise contextuelle

La *figure 21* résume les données de contexte du bassin de la Vezouze.

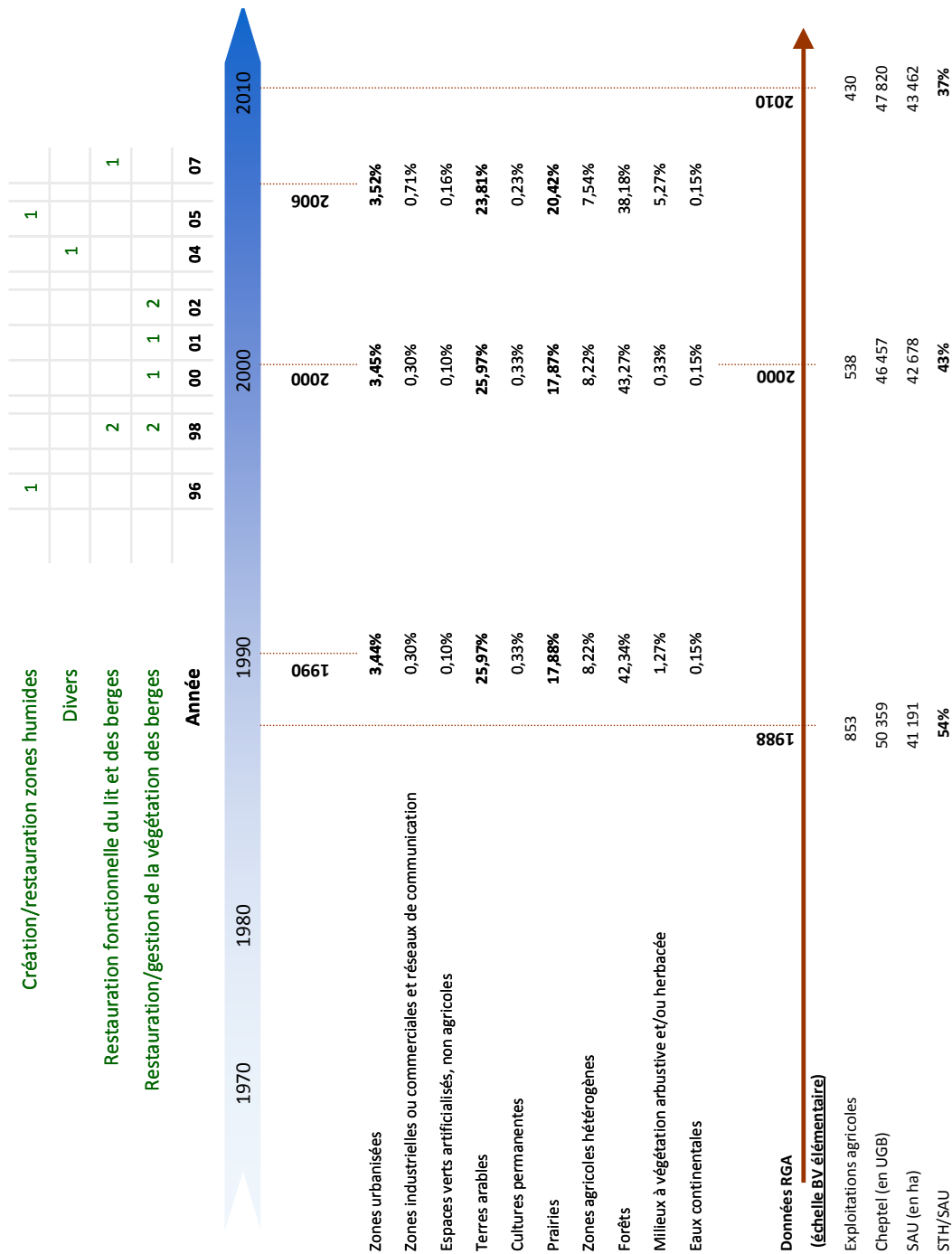


Figure 21 : Frise contextuelle du bassin de la Vezouze amont (sources : AERM, CLC, RGA)

Sur la Vezouze, les quelques opérations de restauration hydromorphologique n'ont concerné que des secteurs très ponctuels (faible linéaire). On note également une absence totale d'assainissement collectif des communes situées sur la zone-test, les études préalables aux travaux étant actuellement en cours sur ce bassin. Les rejets sont généralement effectués directement dans le cours d'eau.

La surface en herbe croît sur ce secteur au détriment des cultures. Ces constats mettent particulièrement bien en évidence la situation de la zone-test « Vezouze » avec un très faible nombre d'opérations de levée de pressions (qui restent toutefois limitées initialement sur ce bassin).

III.3.3 Indicateurs biologiques

Le *tableau IX* résume les tendances et ruptures de pente mises en évidence pour les indices biologiques et indices de structure taxonomique sur la Vezouze à Thiébauménil. Les tests effectués sont conformes aux critères de la *figure 12*.

Tableau IX: Résultats des tests significatifs au seuil $\alpha = 0,05$ pour les métriques biologiques sur la Vezouze

N° National	Tendances 02067800	Date de rupture 02067800	Moyenne avant-après 02067800	Dès le début de la chronique, on observe des valeurs élevées pour les différents indices biologiques, avec une tendance à la hausse de l'indice « continu » et du GFI « continu » relatifs aux invertébrés
Indice Continu	↗	2002	15,5 - 18,3	
GFI Continu	↗	2000	5,75 - 7,8	
Variété taxonomique continue		2003	36 - 40,75	
S_INV		2002	39,6 - 43,9	
Q_INV	↘	2000	8138 - 2416	
Q_POI		1996	285,4 - 626	

benthiques. L'abondance quant à elle diminue dans cette chronique.

La variabilité interannuelle sur ce bassin est très forte, y compris lorsque l'on observe des tendances significatives, et permet difficilement d'être catégorique sur les événements qui se sont déroulés sur la Vezouze.

IV. Discussion

L'application de la méthodologie sur deux bassins tests a permis d'évaluer la faisabilité et les limites de la démarche d'analyse tout en produisant des résultats visant à mettre en évidence l'évolution de la qualité milieu au regard des interventions réalisées. Les enseignements relatifs à ces deux dimensions de l'approche sont présentés ci-après et mis en perspectives d'études complémentaires et de pistes d'améliorations.

IV.1.1 Des premiers enseignements sur les effets de la restauration

Les résultats présentés en *III*, complétés des *annexes 6,7* et *8* et des éléments bibliographiques, montrent une tendance globale à l'amélioration des différents compartiments du milieu sur la Meuse amont. Les résultats de la Vezouze ne permettent pas d'identifier de manière aussi claire l'évolution des milieux.

D'une part, le compartiment physique, notamment sur la Meuse qui a bénéficié de nombreuses opérations de restauration hydromorphologique, montre une amélioration sur un linéaire important jusqu'à la confluence avec le Mouzon comme le décrit le résultat de l'actualisation de l'état du milieu physique par simulation (Pöyry Environnement, 2013). La qualité du milieu physique de la Vezouze s'est améliorée plus ponctuellement. Bien que l'on puisse imputer sans trop de difficultés l'amélioration du milieu physique de la Meuse aux interventions, les modifications observées sur la Vezouze sont vraisemblablement dues au dynamisme du cours d'eau et à la reprise naturelle, favorisant son auto-restauration.

Toujours sur la Meuse, la qualité physico-chimique semble s'être améliorée également, avec une tendance à la baisse de la quasi-totalité des macropolluants. Cette tendance ne peut cependant pas être reliée à l'amélioration de l'autoépuration à ce stade de l'analyse. C'est surtout l'épuration des communes (phosphore, DCO et DBO5, NH_4^+ et NKJ) qui explique ce résultat. A l'inverse, la hausse de la DCO et de l'azote Kjeldahl sur la Vezouze semble être liée à l'absence d'assainissement sur ce bassin et à la pression démographique légèrement en hausse. La hausse des matières en suspension sur la Meuse pourrait s'expliquer par l'augmentation de la surface en terres arables, qui accroît la surface des terres nues une partie de l'année et donc l'érosion des sols.

Fait notable, l'analyse a fait apparaître des valeurs extrêmes qui semblent reliées à des phénomènes particuliers, notamment en 1995 et en 1996 sur la Meuse. L'hydrologie ne semble pas en cause (pas d'étiage sévère), et la date semble coïncider avec la mise en service de la station d'épuration de Lénizeul. Néanmoins, l'hypothèse que ce phénomène soit relié à un rejet industriel reste à creuser.

Ces valeurs de 1995 et 1996 semblent avoir durement touché les organismes vivants sur la Meuse puisque l'on observe sur l'ensemble des chroniques un effondrement des effectifs, de la diversité et par extension des valeurs des indices biologiques à la fois sur les macroinvertébrés et sur l'ichtyofaune. Ces valeurs extrêmes de la biologie ont sans doute influencé les tests de tendances.

Malgré ce phénomène, l'amélioration de la qualité biologique semble avérée et durable sur la Meuse. Plusieurs indices vont en effet dans ce sens, tant au niveau des macroinvertébrés benthiques que de la faune piscicole, que ce soit par l'observation de tendances d'améliorations ou de ruptures avec augmentation de la moyenne dans la plupart des cas (lorsque les chroniques sont suffisamment longues pour l'interprétation des données).

Les ruptures identifiées en 2001 sur la station amont (à Bassoncourt) et en 2006 sur la station aval (à Goncourt) ne sont probablement liées à aucun phénomène en particulier, si ce n'est la différence de réactivité de ces milieux (moins réactif à l'aval). Elles permettent toutefois de mettre en exergue des différences significatives à la fois au niveau de la physico-chimie et de la biologie. Par ailleurs, l'identification au début des années 2000 de ces ruptures semble être cohérente avec la réactivité des milieux après l'arrêt des dégradations, le début des opérations de restauration et le délai des effets attendus (une dizaine à une quinzaine d'années).

Même si aucune analyse de corrélation n'a été testée pour expliquer (ou non) la relation entre la biologie et la physico-chimie et les forces motrices, plusieurs indices convergent vers l'hypothèse que les opérations de restauration de l'hydromorphologie jouent un rôle dans l'amélioration de la qualité biologique. Bien que certaines améliorations puissent être imputées à l'assainissement (1996, 1999 et 2003, soit un décalage d'un an avec la mise en service des STEP), il a été démontré

qu'en l'absence d'amélioration de la qualité de l'habitat, liée étroitement aux conditions hydromorphologiques, un effet de seuil peut être observé sur les communautés aquatiques lorsque la qualité physico-chimique de l'eau est améliorée (Archambault et Arce, 2012). Cet effet de seuil n'est pas observé sur la Meuse avec des améliorations continues de la biologie après la mise en service de la dernière STEP, en lien avec les opérations de restauration menées depuis le début des années 1990.

Par ailleurs, la température de l'eau, en baisse également, est difficilement reliée aux changements de l'agriculture, de l'assainissement ou de l'industrie. Plusieurs hypothèses semblent ainsi associer cette diminution à la reconstitution progressive d'une ripisylve ou encore à la diversification des écoulements.

En outre, les populations piscicoles sont révélatrices d'une évolution du fonctionnement du milieu, au moins sur la station de Bassoncourt. L'augmentation du nombre d'espèces peut ainsi traduire soit une augmentation des types d'habitats soit un enrichissement trophique. Toutefois, au vu des données physico-chimiques, la première hypothèse est privilégiée. La dominance croissante du goujon et l'installation progressive de l'ablette au cours de la chronique tend à refléter un milieu plus diversifié, intégrant notamment des zones lotiques, et une relative bonne qualité physico-chimique. A partir de 2007, l'explosion des effectifs du vairon, mais surtout l'apparition du chabot sont également révélateurs de fonds propres, non colmatés. La connaissance de l'empoisonnement effectué par les associations de pêche locales permettrait d'affiner le diagnostic, et pourrait expliquer la capture d'espèces de façon « accidentelle » (tanche, rotengle, carassins). Globalement, ces éléments vont dans le sens d'un peuplement piscicole plus en adéquation avec la structure typologique du milieu. L'amélioration de la qualité physico-chimique combinée à la restauration morphologique du cours d'eau (habitats aquatiques, ripisylve) peut vraisemblablement expliquer cette évolution positive.

L'amélioration observée sur la Vezouze des indices biologiques semble plus contrastée que sur la Meuse (moins de réponses). Ceci s'explique par la relative bonne qualité biologique initiale du milieu et par le dynamisme du cours d'eau qui a permis de « corriger » les effets de certaines altérations passées (rectification). Sur la zone étudiée, l'agriculture d'élevage semble se développer avec des surfaces prairiales plus importantes depuis 1990.

L'arrêt des dégradations morphologiques (fin des années 1980) est également à mettre en évidence, permettant à la Vezouze de retrouver progressivement une certaine qualité du milieu physique et des compartiments biologiques adaptés.

Ces nombreuses observations, sur le bassin de la Meuse amont pour lequel l'analyse a été plus approfondie et se révèle souvent robuste, permettent de dégager des hypothèses quant à l'évaluation

de l'effet de la restauration morphologique des cours d'eau.

→ La hausse des valeurs des indices biologiques, l'évolution des populations piscicoles vers un peuplement plus diversifié et témoin d'un fonctionnement amélioré du milieu, la baisse de la température sur la chronique tendent à montrer une amélioration sensible de la qualité du milieu en lien avec l'historique des opérations de restauration de l'hydromorphologie menées de manière complémentaire aux actions d'épuration des eaux usées (collectivités).

IV.1.2 Les freins et limites de l'exercice

Les méthodes utilisées et résultats obtenus sont issus de choix réalisés en accord à la fois avec les objectifs de l'étude et les contraintes de l'exercice. Certains biais amènent ainsi à nuancer les résultats obtenus et les hypothèses avancées.

L'utilisation de **données majoritairement qualitatives** dans le cadre de l'étude des opérations de restauration physique et des autres forces motrices conduit à une analyse essentiellement descriptive du contexte. Le manque de précision peut alors amener à poser des hypothèses incomplètes. Certaines interventions dont on sait qu'elles ont pu avoir un effet sur le milieu n'ont pas été quantifiées ou estimées (l'ABERZH, la mise aux normes des bâtiments d'élevage jusque 2007, la mise en place des bandes enherbées), et ne sont intégrées à l'étude que très partiellement (arrêt des dégradations par exemple).

La **disponibilité des données** et des différentes méthodes employées pour leur acquisition constituent la limite majeure de cette étude. Une très grande hétérogénéité à toutes les échelles de travail est observée en particulier sur les données biologiques, particulièrement ciblées dans ce rapport (présence de données sur les stations, utilisation de protocoles différents, formats des listes faunistiques, niveaux de détermination des invertébrés...). Cette hétérogénéité a pu conduire à des incertitudes plus ou moins importantes lors de leur exploitation. Les indices de structure taxonomique sont ainsi pessimistes à partir de 2007 : ils ont été calculés sur la base du niveau de détermination IBGN strict, alors que les listes bancarisées avant 2007 manquaient d'informations pour le calcul au même niveau de détermination.

L'étude de **substances toxiques** (substances prioritaires, substances prioritaires dangereuses...) n'a pas été abordée dans le cadre de cette étude, bien que constituant une source de mortalité chez les communautés aquatiques, et constitue une limite importante de ce travail (événement de 1995/1996 ?). Une attention particulière peut être portée sur les pesticides. Cette catégorie de polluants permettrait d'une part de fournir un indicateur de l'activité agricole (intensification, retournement de prairies...) et d'autre part, les pesticides pourraient être un facteur limitant pour l'amélioration de la qualité biologique même en cas d'amélioration de l'hydromorphologie.

IV.1.3 Perspectives

Analyse fonctionnelle

Plusieurs études (Feld et Hering, 2007 ; Malavoi et Souchon, 2010 ; Mazrin *et al.*, 2012) mettent en avant le fait que les indices biologiques ne sont pas assez sensibles aux modifications de l'écosystème et préfèrent l'utilisation de métriques plus fonctionnelles basées sur les traits biologiques et écologiques. Plusieurs méthodes sont alors possibles dans le contexte de l'étude :

→ Le **Système expert** d'analyse et d'aide à l'interprétation de données recueillies avec le protocole IBGN développé par l'Université de Metz (Usseglio-Polatera et Beisel, 2002) fournit une aide à (i) la détermination de la qualité des habitats et (ii) à l'expertise des communautés benthiques.

→ Les **traits biologiques et écologiques** sont quant à eux plus facilement associables à la notion d'habitat et par extension à l'hydromorphologie des cours d'eau (zonation longitudinale, préférence de microhabitat...). Les annexes jointes au travail de Lausecker *et al.* (2012) apportent un regard assez complet sur les traits bioécologiques des macroinvertébrés et sur les guildes piscicoles en lien avec l'hydromorphologie.

Opérations de restauration

Il serait utile de retravailler la base de données Pöyry, pour augmenter la **précision de la localisation des opérations** de travaux, en renseignant de façon plus exhaustive le linéaire restauré lorsque celui-ci a été associé aux actions financées. Cette donnée chiffrée est en effet un complément indispensable du niveau d'ambition des opérations de restauration pour évaluer leur impact potentiel (une opérations sur 1 km n'ayant pas le même impact qu'une opération sur 30 km). L'ABERZH pourrait en outre bénéficier d'un référencement plus précis dans cette base de données, en localisant les interventions d'entretien à la masse d'eau (unité imposée par la DCE) et par année (tranches d'un programme).

Données et traitement

Il s'agit en priorité de qualifier et quantifier de façon plus complète les pressions et levées de pressions des principales forces motrices à l'origine des variations de la qualité de l'eau et du milieu, par le biais d'indicateurs chiffrés. L'objectif étant l'obtention de données au pas de temps annuel pour la mise en parallèle avec les données biologiques par le biais de techniques statistiques les plus robustes possibles (et notamment des **analyses de corrélations**). Sont ainsi ciblés :

→ L'intensité de la restauration (associer la typologie, le linéaire et la superficie restaurés...);

→ L'assainissement collectif ou non (intégration des débits et des concentrations de rejet, réseaux...);

→ L'agriculture (modélisations possible de flux d'azote et de phosphore...).

Les données de **substrat et classes de vitesses** issues des comptes-rendus de terrain des prélèvements d'invertébrés pourraient renseigner sur l'évolution du transport solide du cours d'eau (fond colmaté ou non, ouvrages transversaux qui bloquent les sédiments). A terme, les données hydromorphologiques disponibles à la station grâce au protocole CARHYCE (Lausecker *et al.*, 2012) permettraient de faire le lien avec la biologie.

Conclusion

L'évaluation des effets des opérations de restauration de l'hydromorphologie reste un pan relativement nouveau de l'hydroécologie, en particulier lorsque l'on s'intéresse, comme dans cette étude, à un contexte de larges échelles. Les méthodes d'analyse, que les choix inhérents à ce travail ont imposées, ont nécessité la prise en compte d'un grand nombre de facteurs intervenants sur la qualité physique, physico-chimique et biologique du milieu. Ces méthodes ont également impliqué la mise en œuvre d'une diversité d'outils adaptés au traitement de ces données. La construction de la méthodologie s'est donc appuyée sur un ensemble de choix argumentés et répondant aux interrogations posées au fur et à mesure de l'avancée du travail.

→ Des bassins versants cibles ont été choisis pour répondre au mieux aux objectifs en utilisant à la fois des données chiffrées, des systèmes d'information géographiques et l'expertise des acteurs des projets de restauration des milieux aquatiques. L'échelle du bassin versant de masse d'eau ou de son agrégation a été retenue pour sa pertinence en termes de superficie et vis-à-vis du contexte de la politique de l'eau depuis les années 2000. La confrontation des éléments théoriques et d'expertise, parfois totalement opposés selon les bassins, a permis par ailleurs un choix optimal des zones étudiées et adapté aux buts fixés. Les différentes catégories basées sur des critères d'intensité de restauration ont effectivement permis de mettre en exergue des résultats différents selon les bassins.

→ Des analyses de tendances ont été testées pour suivre les mouvements de la physico-chimie et de la biologie sur des chroniques d'une vingtaine d'années. Des changements significatifs ont pu être observés au sein de ces chroniques : des tendances à la baisse, pour la majorité des macropolluants ; des tendances à la hausse pour certains indices biologiques, de richesse taxonomique, de diversité ; des ruptures dans l'évolution dans les années 2000 ; enfin, une diminution de la température pouvant être reliée notamment à l'hydromorphologie.

Bien que nécessitant une adaptation à chaque contexte local et une expertise complémentaire, la méthodologie proposée à partir des différentes bases de données de l'Agence a permis de dégager des résultats intéressants, notamment sur le bassin de la Meuse où **les opérations de restauration hydromorphologique participent indéniablement à l'atteinte des objectifs environnementaux en complément des interventions plus « historiques » d'épuration des eaux usées.**

En outre, même si la littérature scientifique et technique s'est étoffée depuis les années 2000, les résultats de cette étude dans un contexte de larges échelles mettent particulièrement l'accent sur les gains biologique et hydromorphologique suite à l'arrêt des pratiques dégradantes (rectifications, curages,...), en lien avec la mise en application de techniques de restauration du milieu (techniques végétales, interventions sélectives,...). L'étude fournit en ce sens des éléments sur les pas de temps nécessaires à l'observation des effets des actions, notamment sur la biologie (de l'ordre d'une dizaine d'années pour des milieux à faible dynamique comme la Meuse amont).

Les constats effectués, au cours ce travail, sur la disponibilité des données et des difficultés rencontrées lors de l'élaboration et du test de la méthodologie, militent pour la conservation des réseaux de suivi à long terme et notamment le RESALTT (Réseau de Suivi et d'Analyse Long Terme des tendances de la qualité des cours d'eau du bassin Rhin-Meuse). Ces réseaux, qui garantissent la continuité des analyses dans le temps, permettent l'acquisition de nouvelles données s'intégrant pleinement dans la perspective d'analyses de tendances.

La poursuite des objectifs de cette étude et notamment le suivi à long terme des opérations de restauration hydromorphologique permettrait d'affiner les résultats avec des chroniques plus longues, en intégrant les effets d'interventions de plus en plus nombreuses et ambitieuses. Le travail réalisé dans cette étude n'autorise pas la prévision à plus ou moins long terme, en raison d'une part du nombre de facteurs et de pressions influençant l'état biologique des cours d'eau, et d'autre part de la variabilité interannuelle liée aux conditions environnementales et aux facteurs intrinsèques des communautés aquatiques.

En outre, l'application de cette méthode à d'autres bassins versants de contextes différents doit être envisagée pour appréhender plus finement les effets supposés de l'hydromorphologie seule ou combinée à d'autres pressions/levées de pressions tout en ciblant plus précisément les limites du travail. L'analyse fonctionnelle des communautés aquatiques doit être une priorité pour aller plus loin dans les analyses.

De ce fait, cette étude ne constitue que le premier pas vers une analyse globale de l'efficacité des opérations de restauration hydromorphologique qui sera complétée prochainement, dans le bassin Rhin-Meuse, par des suivis à des échelles plus restreintes localisées au tronçon. Ces études peuvent ainsi contribuer à convaincre les collectivités de la nécessité des interventions sur le milieu physique, en particulier en démontrant leur complémentarité aux opérations d'assainissement pour maintenir ou restaurer la qualité de l'eau et la fonctionnalité des milieux aquatiques (biodiversité, régulation hydraulique, ...).

Bibliographie

TEXTES EUROPÉENS

DIRECTIVE 91/271/CEE DU 21-05-1991 RELATIVE AU TRAITEMENT DES EAUX URBAINES RÉSIDUAIRES (JOCE L135 du 30 mai 1991) modifiée par la directive 98/15/CE (JOUE L67 du 7 mars 1998) et le règlement (CE) n° 1882/2003 (JOUE L284 du 31 octobre 2003).

DIRECTIVE 91/676/CEE DU 12 DÉCEMBRE 1991 CONCERNANT LA PROTECTION DES EAUX CONTRE LA POLLUTION PAR LES NITRATES À PARTIR DE SOURCES AGRICOLES (JOCE L375 du 31 décembre 1991), modifiée par le règlement (CE) n° 1882/2003 (JOUE L284 du 31 octobre 2003).

DIRECTIVE 2000/60/CE DU 23 OCTOBRE 2000 ÉTABLISSANT UN CADRE POUR UNE POLITIQUE COMMUNAUTAIRE DANS LE DOMAINE DE L'EAU (JOUE L327 du 22 décembre 2000 et rectificatif au JOUE L113 du 27 avril 2006), modifiée par la décision 2455/2001/CE (JOUE L331 du 15 décembre 2001) (version consolidée).

LITTÉRATURE TECHNIQUE ET SCIENTIFIQUE

ARCHAIMBAULT V. ET ARCE E., 2012. Exemple d'évolution des réponses biologiques de communautés d'invertébrés benthiques suite à une amélioration de la qualité chimique de l'eau : cas du secteur de Bastide sur le Vistre (Gard). Séminaire biodiversité aquatique, 14 et 15 novembre 2012. 1p.

BARTHÉLÉMY C. ET SOUCHON Y., 2009. La restauration écologique du fleuve Rhône sous le double regard du sociologue et de l'écologue. *Natures Sciences Sociétés*, **17** : 113-121.

BIOTEC & MALAVOI J.R., 2007. Manuel de restauration hydromorphologique des cours d'eau. Agence de l'Eau Seine-Normandie. 66p.

BONADA N., PRAT N., RESH V.H. AND STATZNER, B., 2006. Developments in aquatic insect biomonitoring: a comparative analysis of recent approaches. *Annu. Rev. Entomol.* **51** : 495-523

BONIERBALE T., 2004. Éléments pour l'évaluation de la qualité environnementale des systèmes d'assainissement urbains. Thèse de doctorat, Université de Marne-La-Vallée. 265p.

BOURDIN L., STROFFEK S., BOUNI C., NARCY J.-B., DUFOUR M., 2011. Restauration hydromorphologique et territoires : concevoir pour négocier. Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée & Corse. 108p.

BRAVARD J.-P., 2010. Historique de la restauration physique de cours d'eau. Évolution en rapport aux connaissances et en lien avec les grandes politiques de l'eau. *La restauration physique des milieux aquatiques - Rencontre interrégionale des réseaux d'acteurs pour une gestion globale et concertée des milieux aquatiques - Alixan, 6 juillet 2010.*

CAQUET T., 2012. Des invertébrés pour la bioindication de la qualité des cours d'eau : bilan et perspectives. Séminaire « Bioindicateurs pour la caractérisation des sols », 16 octobre 2012, Maison de la Chimie, Paris 7^e. 11p.

CHANDESRIIS A., MENGIN N., MALAVOI J.-R., SOUCHON Y., PELLA H. ET WASSON J.-G., 2008. SYstème Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie des Cours d'Eau, principes et méthodes, Version V 3.1. Cemagref. 64p.

COMITE DE BASSIN RHIN-MEUSE, 2010. Bassin Rhin-Meuse. Pressions de pollution d'origine urbaine, industrielle et agricole. 12p.

- CONSEIL GÉNÉRAL DU BAS-RHIN, 2010.** Fonctionnement des stations d'épuration urbaines du Bas-Rhin. Bilan 2009. 28p.
- DERONZIER G. ET CHOUBERT J.-M., 2004.** Traitement du phosphore dans les petites stations d'épuration à boues activées. Comparaisons techniques et économiques des voies de traitement biologique et physico chimique. Document technique du Fonds National pour le Développement. 49p.
- DOYLE M.W., STANLEY E.H., ORR C.H., SELLE A.R., SETHI S.A. AND H J.M., 2005.** Stream ecosystem response to small dam removal: Lessons from the Heartland. *Geomorphology* **71**: 227-244.
- DUCHÊNE P. ET VANIER C., 2002.** Réflexion sur les paramètres de qualité exigés pour les rejets de stations d'épuration. *Ingénieries* **29** : 3-16.
- ELOSEGI A., DÍEZ J. ET MUTZ M., 2010.** Effects of hydromorphological integrity on biodiversity and functioning of river ecosystems. *Hydrobiologia*, **657**: 199–215.
- ESCOFIER B., PAGÈS J., 2008.** Analyses factorielles simples et multiples. Objectifs, méthodes et interprétation. 4è Edition. Dunod, Paris. 318p.
- FRIBERG N., KRONVANG B., HANSEN H.O. ET SVENDSEN L.M., 1998.** Long-term, habitat-specific response of a macroinvertebrate community to river restoration. *Aquatic conservation: marine and freshwater ecosystems* **8**: 87-99.
- HARRIS R.R., KOCHER S.D., GERSTEIN J.M. AND OLSON C., 2005.** Monitoring the Effectiveness of Riparian Vegetation Restoration. University of California, Center for Forestry, Berkeley, CA. 33 pp.
- HARRISON S.S., PRETTY J.L., SHEPHERD A., HILDREW A.G., SMITH C., HEY R.D., 2004.** The effect of instream rehabilitation structures on macroinvertebrates in lowland rivers. *Journal of Applied Ecology* **41**: 1140–1154.
- HAYOT M., 2011.** Sur quels critères entreprendre la reconstitution de ripisylves diversifiées (en âge et en structure) et fonctionnelles sur le long terme ? Mémoire de fin d'études. 70 p. + Annexes
- HOCQUET C. ET GOLLA G., 2010.** Le bilan 2008 de l'assainissement en France. Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques. 27p.
- JÄHNIG S. C., BRABEC K., BUFFAGNI A., ERBA S., LORENZ A. W., OFENBÖCK T., VERDONSCROT P. F. M. AND HERING, D., 2010.** A comparative analysis of restoration measures and their effects on hydromorphology and benthic invertebrates in 26 central and southern European rivers. *Journal of Applied Ecology*, **47**: 671–680.
- JÄHNIG S. C., LORENZ A. W. AND HERING D., 2009.** Restoration effort, habitat mosaics, and macroinvertebrates — does channel form determine community composition? *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst.*, **19**: 157–169. des Adductions d'Eau. 49p.
- LAUSECKER P.-O., BAUDOIN J.-M., VEST F., AUGU H., CHATAIGNER J., RUBIN A. ET POULET N., 2012.** Valorisation des données CARHYCE®2009 et exploration des liens hydromorphologie-biologie – Cas des peuplements piscicoles et macroinvertébrés. Rapport technique. Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques. 124 p.
- LEPORI F., PALM D. AND MALMQVIST B., 2005.** Effects of stream restoration on ecosystem functioning: detritus retentiveness and decomposition. *Journal of Applied Ecology*, **42**: 228–238.

- LES AGENCES DE L'EAU, 1999.** La gestion des rivières : transport solide et atterrissements. Les études des Agences de l'Eau n°65. 92p.
- LOPEZ B., BLUM A. ET BARAN N., 2011.** Évaluation des tendances d'évolution des concentrations en polluants dans les eaux souterraines. Guide méthodologique. Partenariat 2010 BRGM-ONEMA. 38p.
- MALAVOI J.-R. ET ADAM P., 2007.** La restauration hydromorphologique des cours d'eau : concepts et principes de mise en œuvre. *Ingénieries* **50**: 49-61.
- MALAVOI J.-R. ET BRAVARD J.-P., 2010.** Éléments d'hydromorphologie fluviale. Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques. 224p.
- MALAVOI J.-R., GARNIER C.C., LANDON N., RECKING A. ET BARAN P., 2011.** Éléments de connaissance pour la gestion du transport solide en rivière. ONEMA. 216p.
- MALAVOI J.-R. ET SOUCHON Y., 2010.** Éléments pour une harmonisation des concepts et des méthodes de suivi scientifique minimal. Volets hydromorphologie – hydroécologie. 95p.
- MAZRIN A., ARCHAIMBAULT V., BELLIARD J., CHAUVIN C., DELMAS F. ET PONT D., 2012.** Ecological assessment of running waters: Do macrophytes, macroinvertebrates, diatoms and fish show similar responses to human pressures? *Ecological Indicators*, **23** : 56–65.
- MERCOIRET L., 2010.** Qualité des eaux usées domestiques produites par les petites collectivités - Application aux agglomérations d'assainissement inférieures à 2 000 Équivalent-Habitants. 55p.
- MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DE LA PÊCHE, 2008.** L'évaluation du PMPOA. Les éleveurs à la reconquête de la qualité de l'eau. 4p.
- OBERDORFF T., PONT D., HUGUENY B., BELLIARD J., BERREBI DIT THOMAS R. ET PORCHER J.-P., 2002.** Adaptation et validation d'un indice poisson (FBI) pour l'évaluation de la qualité biologique des cours d'eau français. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* **365/366** : 405-433
- OFFICE NATIONAL DE L'EAU ET DES MILIEUX AQUATIQUES, 2010.** Pourquoi rétablir la continuité écologique des cours d'eau ? 20p.
- PONT D., DELAIGUE O. ET BELLIARD J., 2011.** Programme IPR+. Révision de l'indice poisson rivière pour l'application de la DCE. Version V0 de l'indicateur. CEMAGREF, 125 p.
- POYRY ENVIRONNEMENT, AGENCE DE L'EAU RHIN-MEUSE, 2013.** Étude d'actualisation des données de caractérisation du milieu physique des cours d'eau sur le bassin Rhin-Meuse. 72p. + annexes.
- SOUCHON Y. ET CHANDESRIIS A., 2008.** Bien connaître le fonctionnement hydromorphologique des cours d'eau : une étape incontournable pour une restauration efficace. 4p.
- STROSSER P., PAU VALL M. AND PLÖTSCHER E., 1999.** Eau et agriculture : contribution à l'analyse d'une relation décisive mais difficile. Commission européenne.
- USSEGLIO-POLATERA P. ET BEISEL J.-N., 2002.** Étude Inter-Bassins. Système expert d'analyse et d'aide à l'interprétation de données recueillies avec le protocole IBGN. Livret-guide. Version 1.0. Université de Metz – EBSE – Équipe de Démécologie. 81 p. + Annexes.
- WASSON J.-G., MALAVOI J.-R., MARIDET L., SOUCHON Y. ET PAULIN L., 1995.** Impacts écologiques de la chenalisation des rivières. Cemagref. 166p.

Annexes

Annexe 1 – Synthèse des définitions associées à la thématique « restauration »

D'après le dictionnaire Larousse², la **restauration** est synonyme de *remise en état*, de *réfection* sans toutefois préciser d'état de référence. On suppose alors que c'est l'état originel qui sert de base à la réfection. La **renaturation** est, toujours d'après le Larousse, une « *opération permettant à un milieu modifié et dénaturé par l'homme de retrouver un état proche de son état naturel initial* ».

Au niveau des établissements nationaux, la définition n'est pas unanime. Pour l'Agence de l'Eau Seine-Normandie³ (AESN), qui rappelle l'origine juridique du terme (loi du 2 février 1995, dite loi « Barnier »), la **restauration** des milieux inclut les interventions « nécessaires au fonctionnement physique et écologique du cours d'eau » et n'implique pas forcément un état identique à l'état originel, au contraire de la **renaturation**. Cette dernière tente pour l'AESN de répondre à un objectif de retour à des fonctionnalités et potentialités initiales du milieu. Le terme de « *réhabilitation* » implique pour l'AESN l'adaptation d'un site à un usage particulier, par un ensemble d'interventions qui ne comprennent pas uniquement des opérations d'hydromorphologie, mais également de traitement de pollution ou de contrôles institutionnels.

Le glossaire EauFrance⁴ (alimenté par les partenaires du Système d'Informations sur l'Eau) affiche quant à lui une définition de la **restauration** contraire à celle de l'AESN. En effet, l'interprétation se rapproche de la définition de renaturation puisqu'elle intègre le « retour à l'état antérieur ». Néanmoins, une notion nouvelle de *résilience* du milieu apparaît et implique une gestion douce du milieu (« abandon ou contrôle raisonné de l'action anthropique »), voire l'absence totale d'intervention. Cette notion de résilience sera utilisée par Malavoi et Adam (2007) dans leur typologie des cours d'eau.

La **renaturation** d'après le glossaire EauFrance est complémentaire de leur définition de « **réhabilitation** » (remise en état de fonctions de l'écosystème), puisqu'elle envisage de réparer toutes les fonctions du milieu et ses caractéristiques physiques afin de retrouver un état proche de son état originel.

L'Agence de l'Eau Rhin-Meuse intègre dans ses définitions (Glossaire du SDAGE, 2009) la notion d'usage, et différencie la restauration de la renaturation en fonction du degré d'ambition des opérations. La restauration, en effet, cherche à trouver un équilibre entre le fonctionnement

² www.larousse.fr - © Éditions Larousse 2009

³ www.eau-seine-normandie.fr

⁴ www.glossaire.eaufrance.fr

écologique et hydromorphologique d'un cours d'eau tout en satisfaisant les conditions nécessaires au maintien des usages qui s'exercent sur le milieu.

Le terme de renaturation est utilisé pour des opérations les plus ambitieuses sur les cours d'eau, en recréant des conditions hydrauliques et écologiques favorables.

Dans la littérature scientifique, l'ambiguïté est également présente et renforcée par l'utilisation de la langue anglaise, dont les traductions parfois abusives tendent à banaliser certaines expressions. [Wasson *et al.* en 1995](#), font la distinction entre « réparer » suite à des interventions passées, « restaurer une dynamique naturelle » et « réhabiliter un cours d'eau en recherchant un nouvel équilibre ». [Malavoi et Adam \(2007\)](#) englobe sous le terme de **restauration** des interventions de différents niveaux d'ambition et a créé une typologie spécifique aux opérations de restauration ([voir « La restauration en pratique »](#)).

D'après [Barthélémy et Souchon en 2009](#), la distinction se fait entre la **restauration** (retour à un état avant altération) et la **réhabilitation** (correction partielle du milieu physique), alors que la **renaturation** n'est pas évoquée. C'est dans ce sens que [Harrison *et al.* \(2004\)](#) envisagent les opérations de **réhabilitation**, puisqu'ils évoquent des structures tels que des épis, des déflecteurs ou encore la pose de radiers artificiels qui agissent localement et uniquement dans le lit mineur sur le milieu physique. Cependant dans l'ensemble, la communauté scientifique intègre tous les types d'opérations dans le terme de **restauration** ([Jähnig *et al.*, 2010](#) ; [Friberg *et al.*, 1998](#) ; [Malavoi et Adam, 2007](#), [Palmer *et al.*, 2010](#)) et chacun des concepts associés aux définitions précédentes (retour à un état antérieur, amélioration des fonctionnalités, de la diversité biologique, ...)

Annexe 2 : Indices biologiques bancarisés à l'Agence de l'Eau et utilisés dans l'étude

Paramètre	Indice	Sous-indices	Code	
			Sandre	Référence
Diatomées	Indice de polluo-sensibilité spécifique (IPS)		1022	Coste in Cemagref, 1982
	Indice Biologique Diatomées (IBD2000)		1080	AFNOR NF T90-354 (2000)
		Variété taxonomique	1693	
	Indice Biologique Diatomées version 2007 (IBD2007)		5856	AFNOR NF T90-354 (2007)
		Variété taxonomique	6335	
Invertébrés	Indice biologique de qualité générale (IBG)		1003	Publication en 1985 (AFNOR)
		Variété taxonomique	1004	
		Groupe faunistique	1005	
		indicateur (GFI)		
	Indice Biologique Global Normalisé (IBGN)		1000	AFNOR NF T90-350 (1992)
		Variété taxonomique	1001	
		Groupe faunistique	1002	
		indicateur		
	Indice IBGN approché sur les bocaux A+B du protocole RCS (MPCE A+B)		5910	A partir de la norme AFNOR XP T90-333
		Variété taxonomique	6034	
	Groupe faunistique	6035		
	indicateur			
Poissons	Indice Poissons Rivières (IPR)		7036	AFNOR NF T90-344 (2004)

Annexe 3 : Typologie des actions de restauration hydromorphologique

Typologie	Description	Niveau d'ambition	Restauration active ou passive
Acquisition/maîtrise foncière	Acquisition de parcelles bordant les cours d'eau	P	Passive
Protection et entretien de zones humides	Préservation de l'état actuel des ZH existantes liées au cours d'eau et travaux d'entretien	P	Passive
ABERZH	Programmes pluriannuels d'entretien des cours d'eau (gestion de la végétation, gestion des atterrissements)	P	Passive
Entretien du lit mineur	Travaux d'entretien (désenvasement ponctuel, gestion des atterrissements, gestion des plantes invasives)	P	Passive
Continuité piscicole	Aménagements visant la reconstitution de la franchissabilité piscicole (de type Passes à poissons)	R1	Active
Gestion/restauration de la végétation des berges	Gestion et diversification de la végétation des berges (plantations...)	R1	Active
Création/restauration de zones humides	Reconnexion/création/restauration des fonctionnalités écologiques des annexes hydrauliques (y compris des frayères)	R2	Active
Restauration morphologique fonctionnelle du lit et des berges	Travaux sur lit et berges s'inscrivant dans un contexte de restauration. Incluent les reconstitutions de ripisylve	R2	Active
Restauration morphologique fonctionnelle globale	Actions de restaurations globales des fonctionnalités du cours d'eau. Incluent les effacements d'ouvrage	R3	Active
Divers	Travaux jugés sans effet significatif sur le milieu physique mais ayant des impacts potentiels sur la biologie	Variable	Active

(modifié d'après Pöyry Environnement, 2013)

Annexe 4 : Liste des variables intégrées à l'étude

Code Paramètre	Nom paramètre	Code Paramètre	Nom paramètre
1335	Ammonium	2964	Indice Poisson Rivière
1340	Nitrates	7036	Indice Poisson Rivière
1339	Nitrites	1693	Variété taxonomique IBD ancien
1319	Azote Kjeldahl	6335	Variété taxonomique IBD2007
6018	Azote total	1022	Indice polluosensibilité spécifique
1433	Orthophosphates (PO4)	1080	IBD 2000 (ancien)
1350	Phosphore total	5856	IBD 2007
1313	Demande Biochimique en oxygène en 5 jours (D.B.O.5)	1001	Variété taxonomique IBGN
1314	Demande Chimique en Oxygène (D.C.O.)	1002	Groupe indicateur IBGN
1312	Taux de saturation en oxygène	1003	Indice Biologique Global
1311	Oxygène dissous	1005	GF indicateur (IBG)
1302	Potentiel en Hydrogène (pH)	5910	MPCE phases A+B
1303	Conductivité à 25°C	6034	MPCE Variété phases A+B
1304	Conductivité à 20°C	6035	MPCE GFI phases A+B
1301	Température de l'eau	1004	Variété taxonomique IBG
1305	Matières en suspension	1000	Indice Biologique Global Normalisé (IBGN)
1439	Chlorophylle a		Richesse spécifique invertébrés (S_INV)
10501	O2 dissous, minimum		Abondance invertébrés (Q_INV)
10500	O2 dissous % Percent 10		Indice de diversité invertébrés (H_INV)
10502	DBO5 Percentile 90		Indice d'équitabilité invertébré (E_INV)
10503	DCO Percentile 90		Richesse spécifique poissons (S_POI)
10504	NH4+ Percentile 90		Abondance poissons (Q_POI)
10505	Azote total Percentile 90		Indice de diversité poissons (H_POI)
10506	NO3 Percentile 90		Indice d'équitabilité poissons (E_POI)
10507	NO2 Percentile 90		
10508	NKJ Percentile 90		
10509	P Total Moyenne été		
10510	PO4 Moyenne été		
10513	TH Percentile 90		

Les données biologiques et physico-chimiques ont été extraites de la base de données Milieu le 23/05/2013. Toutes les données extraites de « Suivre Le Milieu » ou diffusées librement sont issues d'un processus de validation et peuvent être utilisées en prenant impérativement en compte les codes de validation qui leur sont associés (code remarque, validation scientifique, validation producteur).

D'autres données, non fournies par l'appli SLM, sont également complémentaires à l'analyse. Il s'agit des données issues des opérations de pêche de l'ONEMA sur le bassin Rhin-Meuse depuis 1990. Elles sont en libre accès sur le site Image⁵ de l'ONEMA et extraites de la BDMAP® le 03/01/2012 (Source : ONEMA). Ces données concernent des listes faunistiques, effectifs, masses, densités en nombre, densités en masse, et sont regroupées par région et par décennie d'intervention.

Les listes faunistiques associées aux prélèvements IBGN (de 1992 à 2006) ont été extraites de différentes bases de l'Agence (« valparm », « gmtax », « taxons », « gromesm », « stames ») le 23/05/2013. Les listes faunistiques associées aux prélèvements du protocole RCS (depuis 2007 inclus) sont fournies individuellement par station et par année (un prélèvement annuel).

⁵ www.image.eaufrance.fr

Annexe 5 : Principes des tests statistiques mis en œuvre

Les paragraphes suivants sont issus du rapport de Lopez *et al.* (2011)⁶ qui présente l'outil d'évaluation des tendances en eaux souterraines.

Le test de Mann-Kendall (Kendall, 1938, repris par Renard, 2006)

L'hypothèse H0 testée est l'absence de tendance.

La statistique calculée est définie comme suit :

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn} [(y_j - y_i)(x_j - x_i)]$$

où la fonction sgn est la définie par : $\text{sgn}(X) = 1$ pour $X > 0$; $\text{sgn}(X) = 0$ pour $X = 0$ et $\text{sgn}(X) = -1$ pour $X < 0$.

Mann (1945) et Kendall (1975) ont démontré que

$$E(S) = 0$$

$$\text{Var}(S) = n(n-1)(2n+5)/18$$

Dès que l'échantillon contient une dizaine de données, la loi de la statistique de test Z ci-dessous peut-être approché par une gaussienne centrée-réduite.

$$Z = \frac{S-1}{(\text{Var}(S))^{1/2}} \text{ si } S > 0$$

$$Z = 0 \text{ si } S = 0$$

$$Z = \frac{S+1}{(\text{Var}(S))^{1/2}} \text{ si } S < 0$$

S'il y a des ex-aequo dans la série, la variance de S est corrigée de la façon suivante :

$$\text{Var}(S) = 1/18 \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^g t_p(p-1)(2p+5) \right]$$

où t_p est le nombre d'égalités impliquant p valeurs.

⁶ LOPEZ B., CROISSET N., SURDYK N. ET BRUGERON A., 2011 Développement d'outils d'aide à l'évaluation des tendances dans les eaux souterraines au titre de la DCE. Rapport final. Partenariat BRGM-ONEMA. 93p.

La régression linéaire (selon Renard, 2006)

L'hypothèse H_0 testée est que les données ne sont pas linéairement dépendantes du temps.

Ce test est basé sur le modèle paramétrique suivant :

$$X = \alpha + \beta t + \varepsilon$$

où les erreurs ε suivent une loi normale centrée.

La valeur de la pente et l'ordonnée à l'origine sont définies de façon à minimiser la somme des carrés des écarts entre les valeurs observées et les valeurs de la droite de régression.

$$\hat{\beta} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

$$\hat{\alpha} = \bar{y} - \hat{\beta} \times \bar{x}$$

La variance de l'estimateur de tendance peut être estimée par :

$$Var(\hat{\beta}) = \frac{12 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y} - \hat{\alpha} - \hat{\beta} x_i)^2}{(n-2)n(n^2+1)}$$

Le test de la régression linéaire consiste alors à vérifier que l'estimateur du coefficient β est proche de 0. Pour cela on compare la statistique Z définie ci-dessous aux quantiles d'une loi de Student à $n-2$ degré de liberté :

$$Z = \frac{\hat{\beta}}{\sqrt{Var(\hat{\beta})}}$$

Changement de pente de Darken (1999)

Darken (1999) propose dans sa thèse deux méthodes basées sur le tau de Kendall.

Pour un changement de tendance (= changement de signe), il propose la statistique suivante :

$$Z = \frac{\tau_1 - \tau_2}{\sqrt{Var(\tau_1) + Var(\tau_2)}}$$

Les variances sont calculées comme décrit par Kendall (1976).

La date de rupture la plus probable est la date pour laquelle Z est maximum.

La p-value du test est calculée en comparant la statistique Z pour la date de rupture identifiée aux quantiles d'une loi normale centrée réduite (Darken, 1999).

Le test de Pettitt (Pettitt, 1979)

Le test de Pettitt est non paramétrique. Il dérive du test de Mann-Whitney. L'hypothèse nulle est l'absence de rupture dans la chronique. Elle est testée par la statistique $U_{\tau,n}$ considérée pour l'ensemble des valeurs de τ telles que $1 \leq \tau \leq n$:

$U_{\tau,n} = \sum_{i=1}^{\tau} \sum_{j=\tau+1}^n D_{ij}$ où : $D_{ij} = \text{sgn}(X_i - X_j)$ où X_i est le vecteur des données trié par date et la fonction sgn est définie par :

$\text{sgn}(X) = 1$ pour $X > 0$; $\text{sgn}(X) = 0$ pour $X = 0$ et $\text{sgn}(X) = -1$ pour $X < 0$

On utilise alors la variable K_n pour tester H_0 telle que $K_n = \max |U_{\tau,n}|$.

Si k correspond à la valeur de K_n , la probabilité de dépassement de la valeur k est donnée par :

$$\Pr(K_n > k) \sim 2 \exp \left[-\frac{6k^2}{(n^3 + n^2)} \right]$$

Si α est supérieur à cette probabilité, H_0 est rejetée. La série présente alors une rupture au temps τ définissant K_n .

Le test de Buishand (Buishand, 1982, 1984)

L'hypothèse H_0 est l'absence de rupture dans la chronique.

Ce test est construit à partir des écarts cumulés à la moyenne jusqu'à un rang k :

$$S_k = \sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})$$

La statistique de test est obtenue par la division des valeurs S_k par la déviation standard :

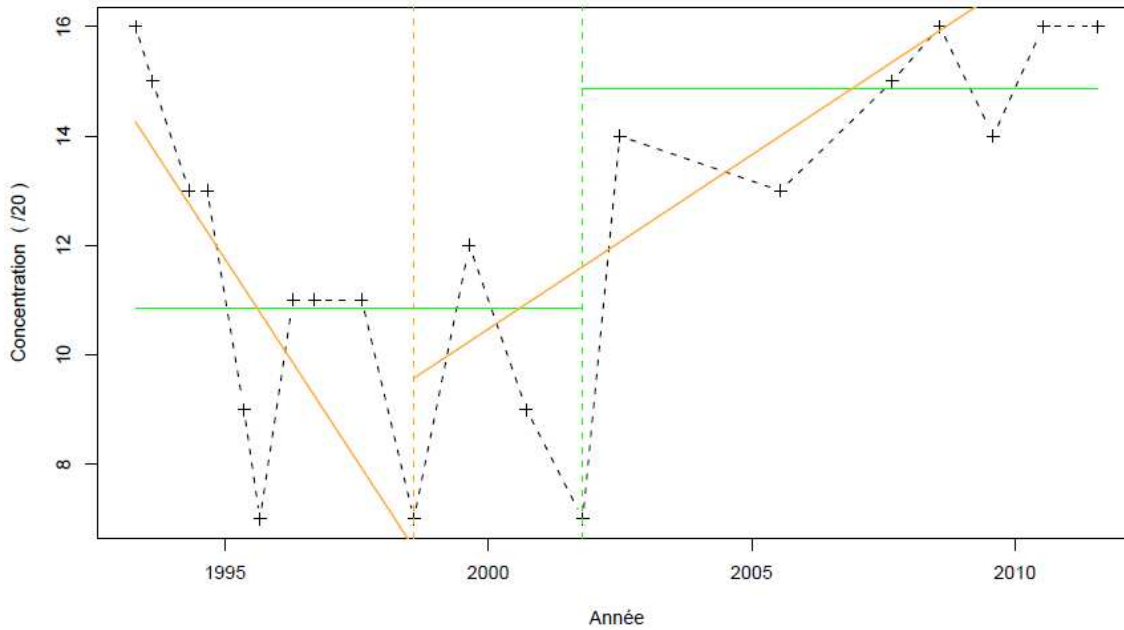
$$Z = \max \left(\frac{|S_k|}{\sqrt{n} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}} \right)$$

Une valeur de Z élevée est un signe d'une rupture dans la chronique. La significativité du test est calculé en comparant la valeur de Z à des valeurs critiques.

Annexe 6 : Chroniques, tendances et ruptures de pentes identifiées sur les indices relatifs à la biologie

La Meuse à Bassoncourt

2106500 / Indice continu invertébrés



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur < LQ, < LD, traces...
- - - Date de changement de moyenne
- Moyenne avant/après rupture
- - - Date d'inversion de tendance
- Tendance avant/après rupture

Caractéristiques de la chronique

Nombre de données : 20
 Longueur de la chronique : 6678 jours (18.3 années)
 Taux de quantification : 100 %

Données autocorrélées
 (pval<0.05)

Données non normalement distribuées
 (pval-Shapiro= 4.7e-02)

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	Aucune tendance significative détectée	1.9e-01
Mann-Kendall modifié		
Régression linéaire	Non effectué (données non normalement distribuées)	

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Pettitt)	18/10/2001	0.0273042124713654
Inversion de tendance	03/08/1998	2.3e-04

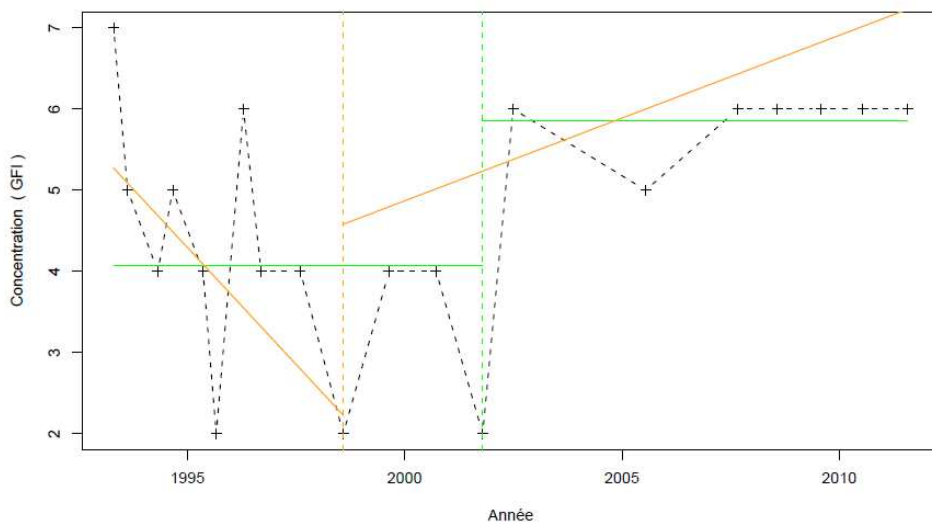
Moyenne des données avant/après rupture

Moyenne	
Avant rupture	10.85 /20
Après rupture	14.86 /20

Tendance avant/après inversion

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall avant inversion	-1.47e+00 /20 /an	1e-02
Mann-Kendall après inversion	6.36e-01 /20 /an	2.6e-03

2106500 / GFI continu invertébrés



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur <LQ, <LD, traces...
- - - Date de changement de moyenne
- Moyenne avant/après rupture
- - - Date d'inversion de tendance
- Tendance avant/après rupture

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	Aucune tendance significative détectée	2.2e-01
Mann-Kendall modifié		
Régression linéaire	Non effectué (données non normalement distribuées)	

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Petitt)	18/10/2001	0.0405010017167513
Inversion de tendance	03/08/1998	2.2e-03

Caractéristiques de la chronique

Nombre de données : 20
 Longueur de la chronique : 6678 jours (18.3 années)
 Taux de quantification : 100 %

Données non autocorrélées

Données non normalement distribuées
 (pval-Shapiro= 1.6e-02)

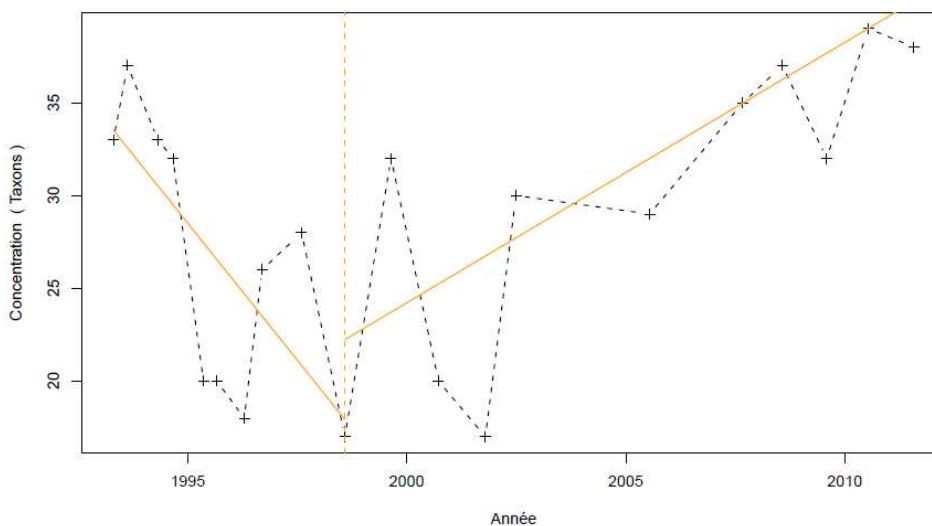
Moyenne des données avant/après rupture

	Moyenne
Avant rupture	4.08 GFI
Après rupture	5.86 GFI

Tendance avant/après inversion

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall avant inversion	-5.76e-01 GFI /an	5e-02
Mann-Kendall après inversion	2.04e-01 GFI /an	5.8e-03

2106500 / Variété taxonomique continue invertébrés



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur <LQ, <LD, traces...
- - - Date d'inversion de tendance
- Tendance avant/après rupture

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	Aucune tendance significative détectée	2.8e-01
Mann-Kendall modifié		
Régression linéaire	Non effectué (données non normalement distribuées)	

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Petitt)	Pas de rupture significative détectée	
Inversion de tendance	03/08/1998	7.4e-04

Caractéristiques de la chronique

Nombre de données : 20
 Longueur de la chronique : 6678 jours (18.3 années)
 Taux de quantification : 100 %

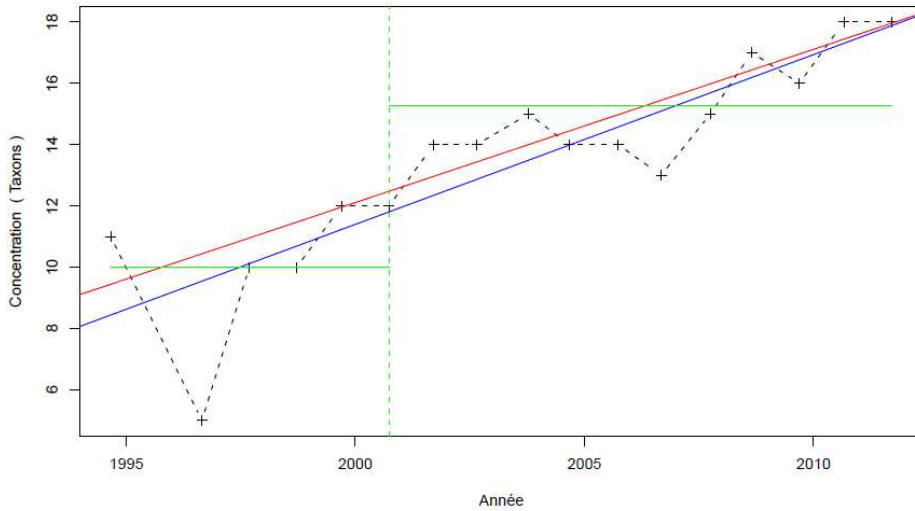
Données autocorrélées
 (pval<0.05)

Données non normalement distribuées
 (pval-Shapiro= 4.5e-02)

Tendance avant/après inversion

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall avant inversion	-2.95e+00 Taxons /an	1.5e-02
Mann-Kendall après inversion	1.4e+00 Taxons /an	6.1e-03

2106500 / S_POI



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur < LQ, <LD, traces...
- Tendence (Mann-Kendall)
- Tendence (régression linéaire)
- - - Date de changement de moyenne
- Moyenne avant/après rupture

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	4.99e-01 Taxons /an	1.5e-05
Mann-Kendall modifié		
Régression linéaire	5.53e-01 Taxons /an	5.4e-06

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Buishand)	27/09/2000	<0.05
Inversion de tendance	Test non effectué (pas assez de données)	

Caractéristiques de la chronique

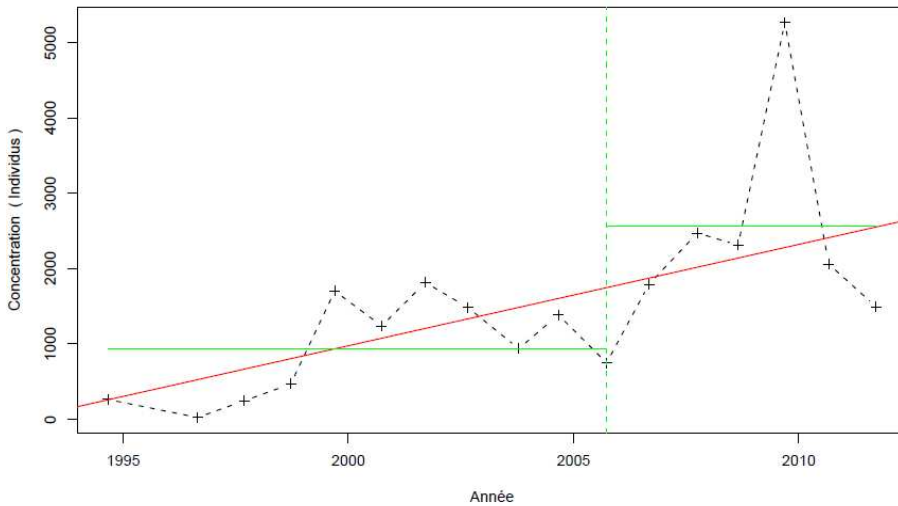
Nombre de données : 17
 Longueur de la chronique : 6232 jours (17.1 années)
 Taux de quantification : 100 %

Données autocorrélées
 (pval<0.05)
 Données normalement distribuées
 (pval-Shapiro= 3e-01)

Moyenne des données avant/après rupture

Moyenne	
Avant rupture	10 Taxons
Après rupture	15.27 Taxons

2106500 / Q_POI



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur < LQ, <LD, traces...
- Tendence (Mann-Kendall)
- - - Date de changement de moyenne
- Moyenne avant/après rupture

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	1.34e+02 Individus /an	1.3e-03
Mann-Kendall modifié		
Régression linéaire	Non effectué (données non normalement distribuées)	

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Pettitt)	26/09/2005	0.015729000027
Inversion de tendance	Test non effectué (pas assez de données)	

Caractéristiques de la chronique

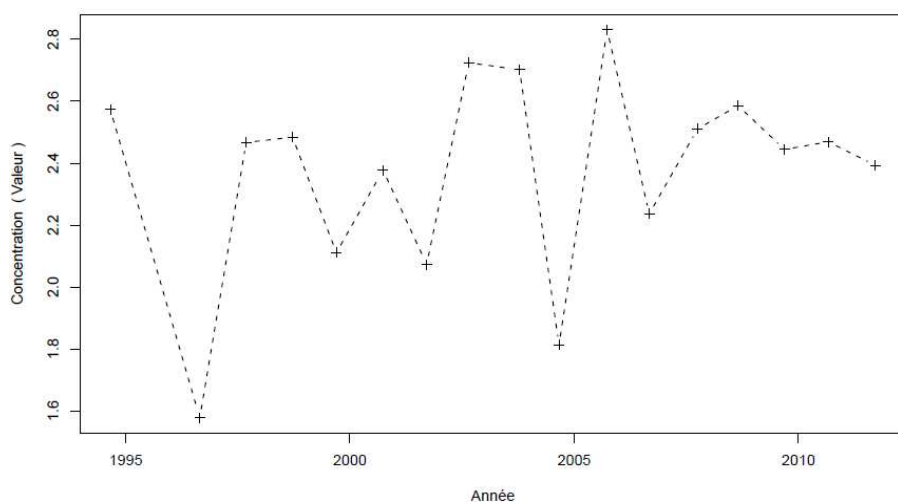
Nombre de données : 17
 Longueur de la chronique : 6232 jours (17.1 années)
 Taux de quantification : 100 %

Données non autocorrélées
 Données non normalement distribuées
 (pval-Shapiro= 8.5e-03)

Moyenne des données avant/après rupture

Moyenne	
Avant rupture	938.55 Individus
Après rupture	2566.5 Individus

2106500 / H_POI



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur < LQ, < LD, traces...

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	Aucune tendance significative détectée	6.6e-01
Mann-Kendall modifié		
Régression linéaire	Aucune tendance significative détectée	3.3e-01

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Buishand)	Pas de rupture significative détectée	
Inversion de tendance	Test non effectué (pas assez de données)	

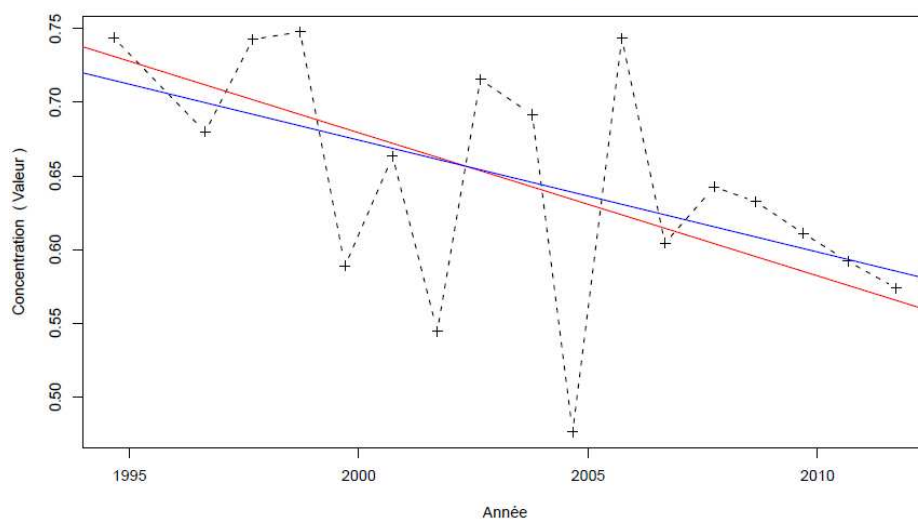
Caractéristiques de la chronique

Nombre de données : 17
 Longueur de la chronique : 6232 jours (17.1 années)
 Taux de quantification : 100 %

Données non autocorrélées

Données normalement distribuées
 (pval-Shapiro= 1.2e-01)

2106500 / E_POI



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur < LQ, < LD, traces...
- Tendence (Mann-Kendall)
- Tendence (régression linéaire)

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	-9.7e-03 Valeur /an	2.7e-02
Mann-Kendall modifié		
Régression linéaire	-7.58e-03 Valeur /an	4.4e-02

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Buishand)	Pas de rupture significative détectée	
Inversion de tendance	Test non effectué (pas assez de données)	

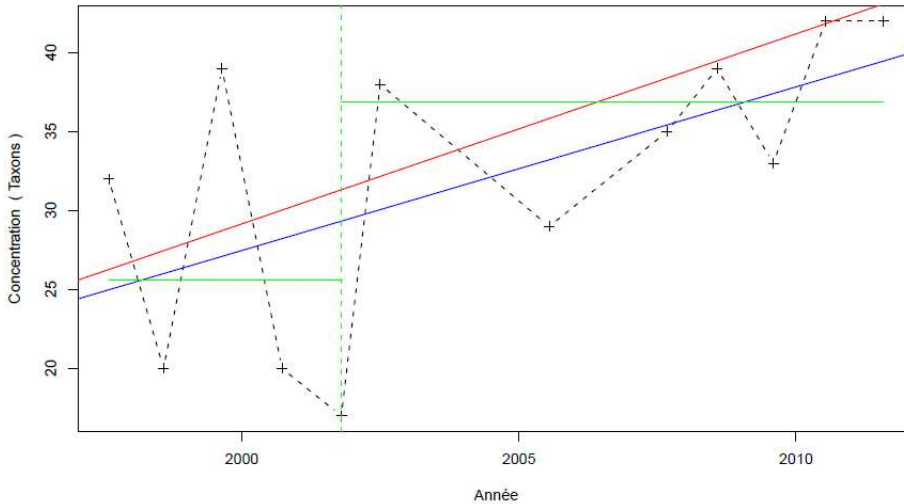
Caractéristiques de la chronique

Nombre de données : 17
 Longueur de la chronique : 6232 jours (17.1 années)
 Taux de quantification : 100 %

Données non autocorrélées

Données normalement distribuées
 (pval-Shapiro= 3.6e-01)

2106500 / S_INV



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur <LQ, <LD, traces...
- Tendence (Mann-Kendall)
- Tendence (régression linéaire)
- - - Date de changement de moyenne
- Moyenne avant/après rupture

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	1.2e+00 Taxons /an	4.5e-02
Mann-Kendall modifié		
Régression linéaire	1.04e+00 Taxons /an	4.8e-02

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Bulshand)	18/10/2001	<0.05
Inversion de tendance	Test non effectué (pas assez de données)	

Caractéristiques de la chronique

Nombre de données : 12
 Longueur de la chronique : 5108 jours (14 années)
 Taux de quantification : 100 %

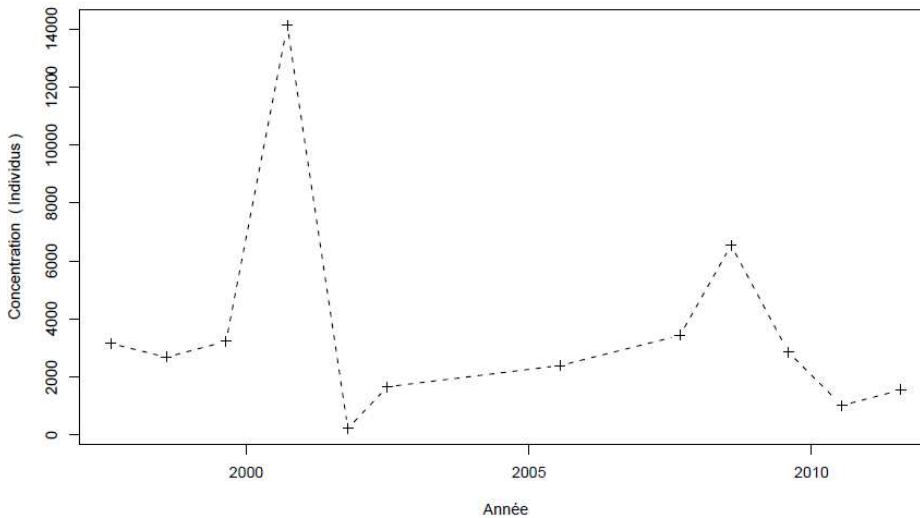
Données non autocorrélées

Données normalement distribuées
 (pval-Shapiro= 9.9e-02)

Moyenne des données avant/après rupture

Moyenne	
Avant rupture	25.6 Taxons
Après rupture	36.86 Taxons

2106500 / Q_INV



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur <LQ, <LD, traces...

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	Aucune tendance significative détectée	5.5e-01
Mann-Kendall modifié		
Régression linéaire	Non effectué (données non normalement distribuées)	

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Petitt)	Pas de rupture significative détectée	
Inversion de tendance	Test non effectué (pas assez de données)	

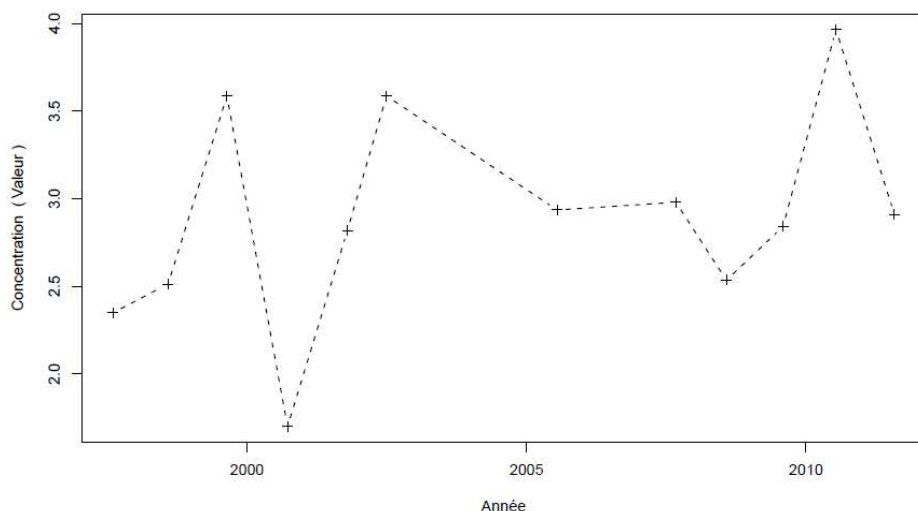
Caractéristiques de la chronique

Nombre de données : 12
 Longueur de la chronique : 5108 jours (14 années)
 Taux de quantification : 100 %

Données non autocorrélées

Données non normalement distribuées
 (pval-Shapiro= 8.7e-04)

2106500 / H_INV



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur <LQ, <LD, traces...

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	Aucune tendance significative détectée	1.5e-01
Mann-Kendall modifié		
Régression linéaire	Aucune tendance significative détectée	2.9e-01

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Buishand)	Pas de rupture significative détectée	
Inversion de tendance	Test non effectué (pas assez de données)	

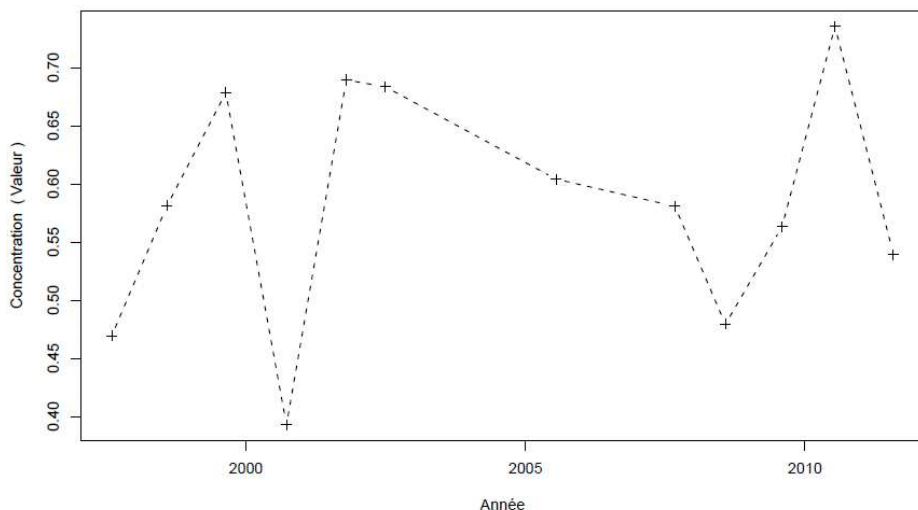
Caractéristiques de la chronique

Nombre de données : 12
 Longueur de la chronique : 5108 jours (14 années)
 Taux de quantification : 100 %

Données non autocorrélées

Données normalement distribuées
 (pval-Shapiro= 7.6e-01)

2106500 / E_INV



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur <LQ, <LD, traces...

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	Aucune tendance significative détectée	9.5e-01
Mann-Kendall modifié		
Régression linéaire	Aucune tendance significative détectée	7.2e-01

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Buishand)	Pas de rupture significative détectée	
Inversion de tendance	Test non effectué (pas assez de données)	

Caractéristiques de la chronique

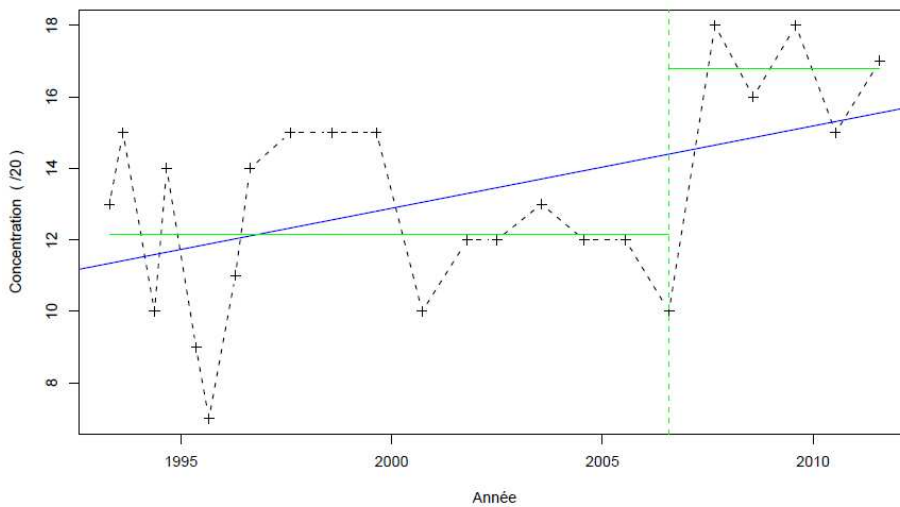
Nombre de données : 12
 Longueur de la chronique : 5108 jours (14 années)
 Taux de quantification : 100 %

Données non autocorrélées

Données normalement distribuées
 (pval-Shapiro= 8.1e-01)

La Meuse à Goncourt

2106600 / Indice continu invertébrés



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur <LQ, <LD, traces...
- Tendence (régression linéaire)
- Date de changement de moyenne
- Moyenne avant/après rupture

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	Aucune tendance significative détectée	5,1e-02
Mann-Kendall modifié		
Régression linéaire	2.3e-01 /20 /an	2.3e-02

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Buishand)	01/08/2006	<0.05
Inversion de tendance	Pas d'inversion significative détectée	

Moyenne des données avant/après rupture

	Moyenne
Avant rupture	12,17 /20
Après rupture	16,8 /20

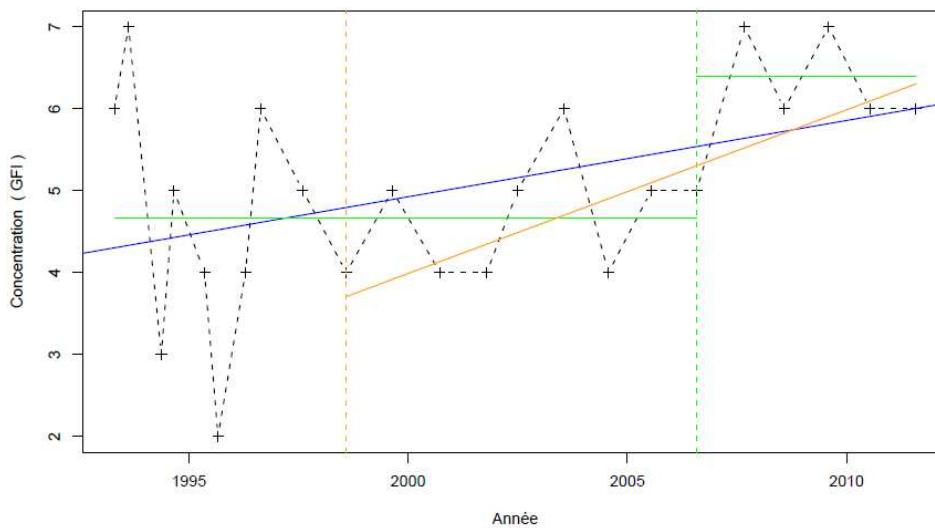
Caractéristiques de la chronique

Nombre de données : 23
 Longueur de la chronique : 6679 jours (18.3 années)
 Taux de quantification : 100 %

Données non autocorrélées

Données normalement distribuées
 (pval-Shapiro= 7,1e-01)

2106600 / GFI continu invertébrés



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur <LQ, <LD, traces...
- Tendence (régression linéaire)
- Date de changement de moyenne
- Moyenne avant/après rupture
- Date d'inversion de tendance
- Tendence avant/après rupture

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	Aucune tendance significative détectée	5,3e-02
Mann-Kendall modifié		
Régression linéaire	9.3e-02 GFI /an	4,3e-02

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Buishand)	01/08/2006	<0.05
Inversion de tendance	04/08/1998	3,2e-02

Moyenne des données avant/après rupture

	Moyenne
Avant rupture	4,67 GFI
Après rupture	6,4 GFI

Tendance avant/après inversion

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall avant inversion	Pas de tendance significative détectée	NA
Mann-Kendall après inversion	2e-01 GFI /an	6,1e-03

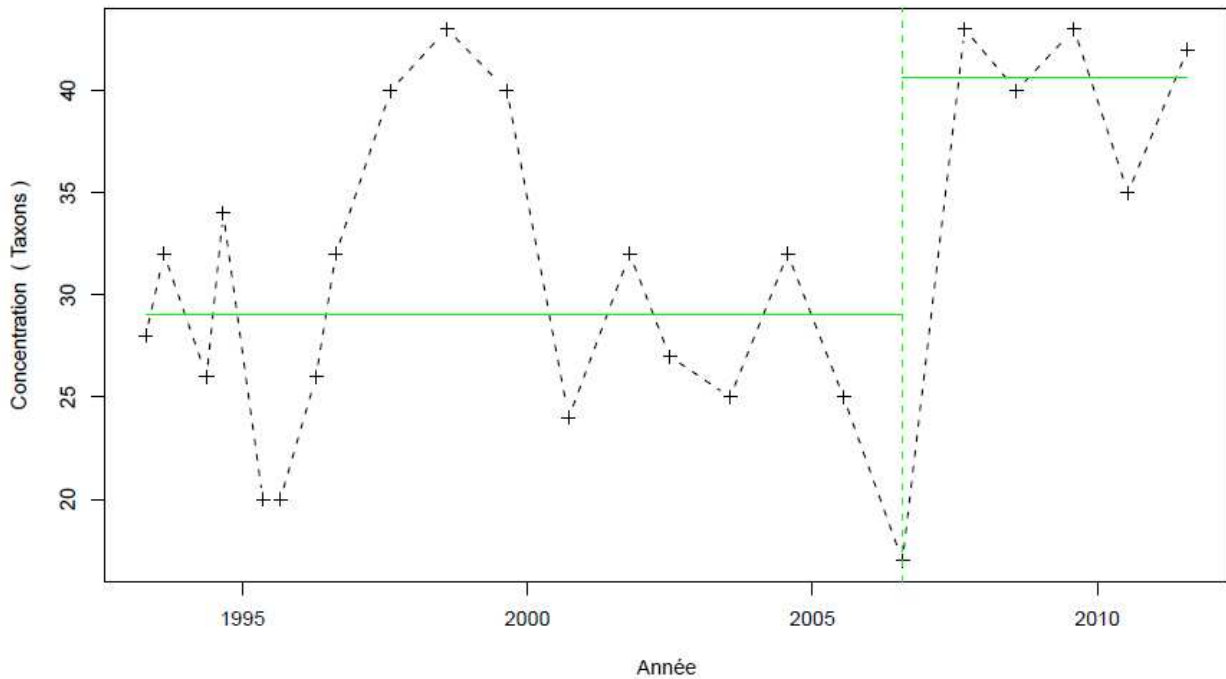
Caractéristiques de la chronique

Nombre de données : 23
 Longueur de la chronique : 6679 jours (18.3 années)
 Taux de quantification : 100 %

Données non autocorrélées

Données normalement distribuées
 (pval-Shapiro= 1,2e-01)

2106600 / Variété taxonomique continue invertébrés



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur <LQ, <LD, traces...
- - - Date de changement de moyenne
- Moyenne avant/après rupture

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	Aucune tendance significative détectée	1.4e-01
Mann-Kendall modifié		
Régression linéaire	Aucune tendance significative détectée	9.2e-02

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Buishand)	01/08/2006	<0.05
Inversion de tendance	Pas d'inversion significative détectée	

Caractéristiques de la chronique

Nombre de données : 23
 Longueur de la chronique : 6679 jours (18.3 années)
 Taux de quantification : 100 %

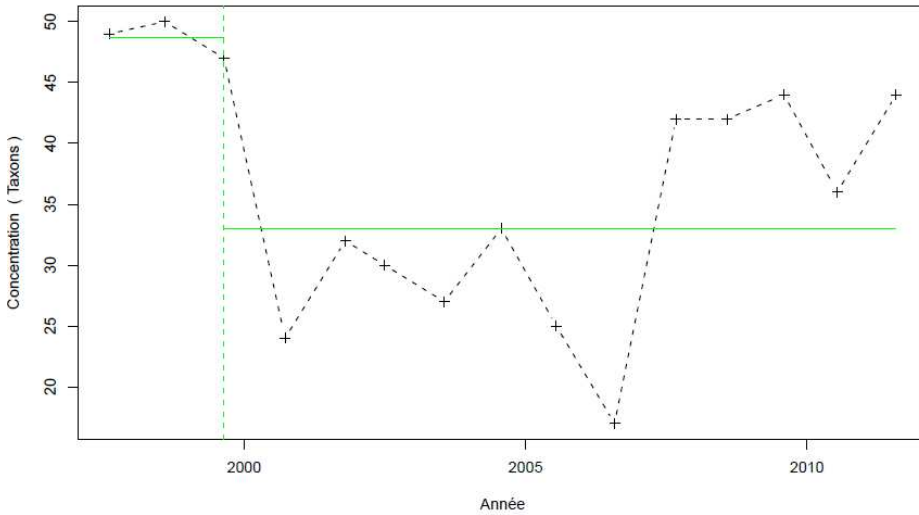
Données non autocorrélées

Données normalement distribuées
 (pval-Shapiro= 1.4e-01)

Moyenne des données avant/après rupture

Moyenne	
Avant rupture	29.06 Taxons
Après rupture	40.6 Taxons

2106600 / S_INV



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur <LQ, <LD, traces...
- - - Date de changement de moyenne
- Moyenne avant/après rupture

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	Aucune tendance significative détectée	6e-01
Mann-Kendall modifié		
Régression linéaire	Aucune tendance significative détectée	7,4e-01

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Buishand)	23/08/1999	<0.05
Inversion de tendance	Test non effectué (pas assez de données)	

Caractéristiques de la chronique

Nombre de données : 15
 Longueur de la chronique : 5109 jours (14 années)
 Taux de quantification : 100 %

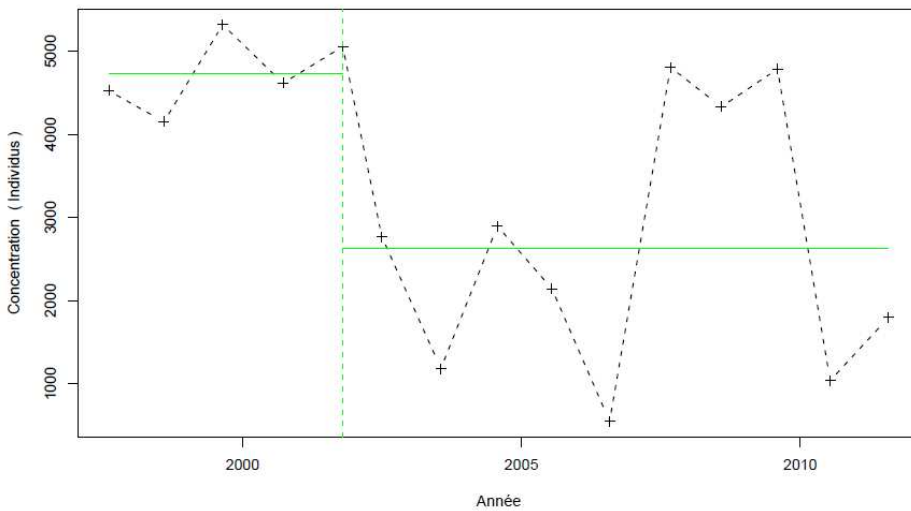
Données non autocorrélées

Données normalement distribuées
 (pval-Shapiro= 4.8e-01)

Moyenne des données avant/après rupture

Moyenne	
Avant rupture	48.67 Taxons
Après rupture	33 Taxons

2106600 / Q_INV



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur <LQ, <LD, traces...
- - - Date de changement de moyenne
- Moyenne avant/après rupture

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	Aucune tendance significative détectée	1,4e-01
Mann-Kendall modifié		
Régression linéaire	Aucune tendance significative détectée	1e-01

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Buishand)	18/10/2001	<0.05
Inversion de tendance	Test non effectué (pas assez de données)	

Caractéristiques de la chronique

Nombre de données : 15
 Longueur de la chronique : 5109 jours (14 années)
 Taux de quantification : 100 %

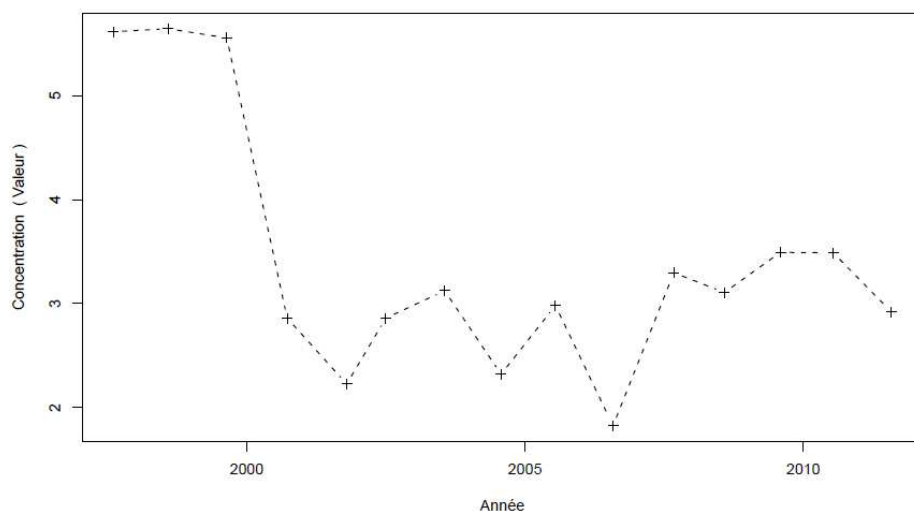
Données non autocorrélées

Données normalement distribuées
 (pval-Shapiro= 6.6e-02)

Moyenne des données avant/après rupture

Moyenne	
Avant rupture	4733 Individus
Après rupture	2628.5 Individus

2106600 / H_INV



Légende

- - : Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur <LQ, <LD, traces...

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	Aucune tendance significative détectée	6.3e-01
Mann-Kendall modifié		
Régression linéaire	Non effectué (données non normalement distribuées)	

Ruptures identifiées

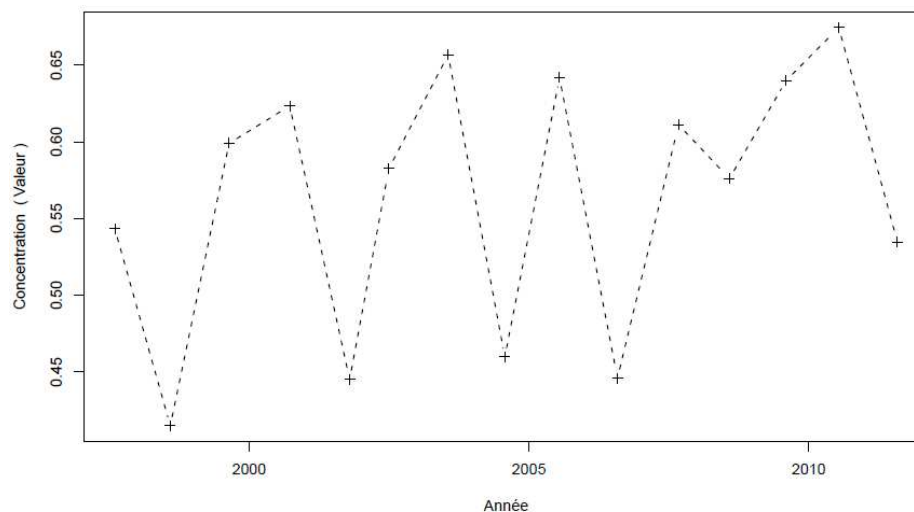
Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Pettitt)	Pas de rupture significative détectée	
Inversion de tendance	Test non effectué (pas assez de données)	

Caractéristiques de la chronique

Nombre de données : 15
 Longueur de la chronique : 5109 jours (14 années)
 Taux de quantification : 100 %

Données autocorrélées
 (pval<0.05)
 Données normalement distribuées
 (pval-Shapiro= 7.5e-03)

2106600 / E_INV



Légende

- - : Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur <LQ, <LD, traces...

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	Aucune tendance significative détectée	2.4e-01
Mann-Kendall modifié		
Régression linéaire	Aucune tendance significative détectée	2.5e-01

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Buishand)	Pas de rupture significative détectée	
Inversion de tendance	Test non effectué (pas assez de données)	

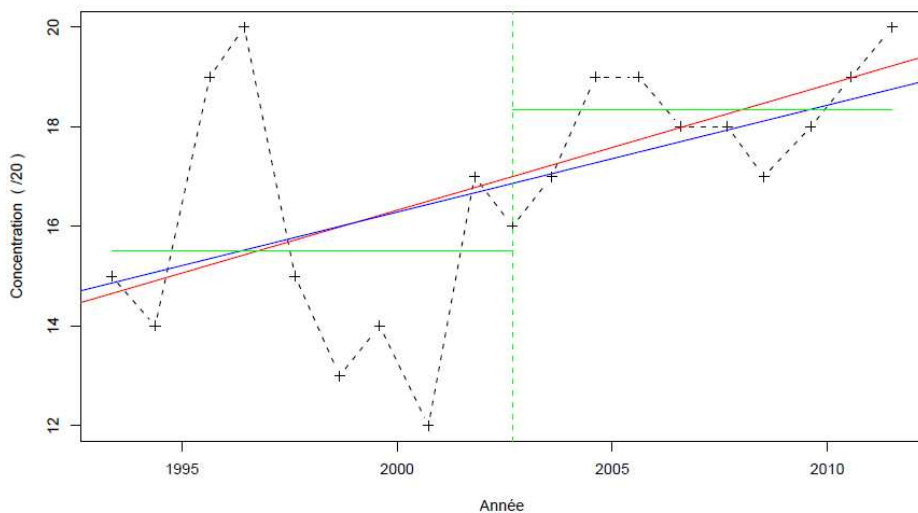
Caractéristiques de la chronique

Nombre de données : 15
 Longueur de la chronique : 5109 jours (14 années)
 Taux de quantification : 100 %

Données non autocorrélées
 Données normalement distribuées
 (pval-Shapiro= 1.3e-01)

La Vezouze à Thiébauménil

2067800 / Indice Continu Invertébrés



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur < LQ, < LD, traces...
- Tendence (Mann-Kendall)
- Tendence (régression linéaire)
- - - Date de changement de moyenne
- Moyenne avant/après rupture

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	2.52e-01 /20 /an	2.8e-02
Mann-Kendall modifié		
Régression linéaire	2.14e-01 /20 /an	2.8e-02

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Buishand)	07/09/2002	<0.05
Inversion de tendance	Test non effectué (pas assez de données)	

Caractéristiques de la chronique

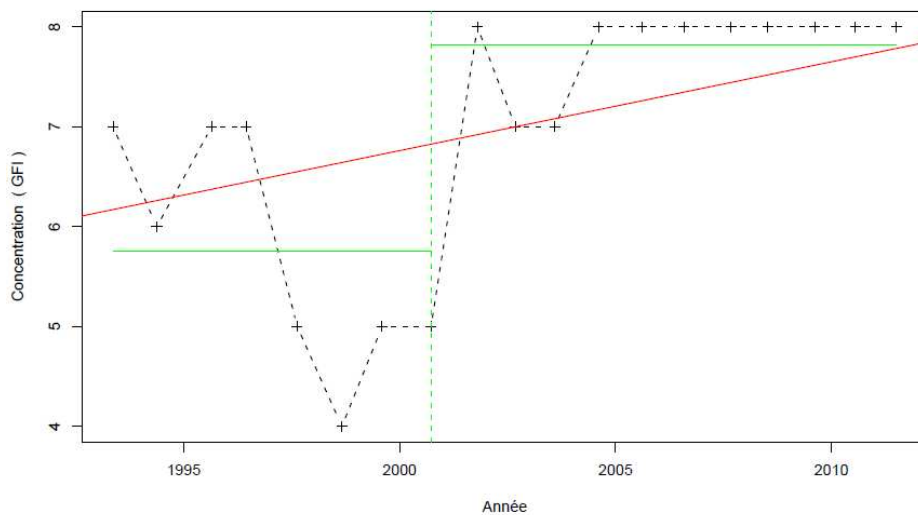
Nombre de données : 19
 Longueur de la chronique : 6628 jours (18.2 années)
 Taux de quantification : 100 %

Données autocorrélées
 (pval<0.05)
 Données normalement distribuées
 (pval-Shapiro= 1.8e-01)

Moyenne des données avant/après rupture

Moyenne	
Avant rupture	15.5 /20
Après rupture	18.33 /20

2067800 / GFI continu invertébrés



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur < LQ, < LD, traces...
- Tendence (Mann-Kendall)
- Date de changement de moyenne
- Moyenne avant/après rupture

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	8.89e-02 GFI /an	2e-03
Mann-Kendall modifié		
Régression linéaire	Non effectué (données non normalement distribuées)	

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Pettitt)	23/09/2000	0.00374321042
Inversion de tendance	Test non effectué (pas assez de données)	

Caractéristiques de la chronique

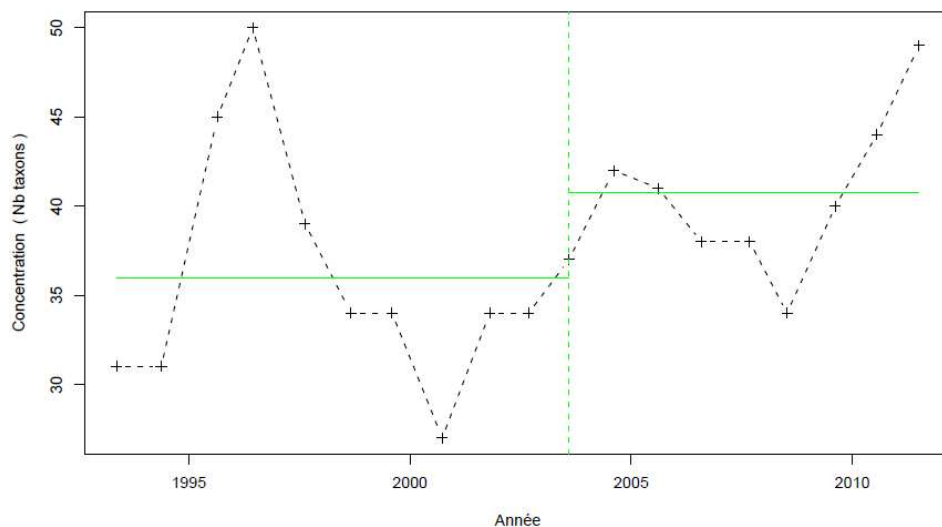
Nombre de données : 19
 Longueur de la chronique : 6628 jours (18.2 années)
 Taux de quantification : 100 %

Données autocorrélées
 (pval<0.05)
 Données non normalement distribuées
 (pval-Shapiro= 6.2e-04)

Moyenne des données avant/après rupture

Moyenne	
Avant rupture	5.75 GFI
Après rupture	7.82 GFI

2067800 / Variété taxonomique continue



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur <LQ, <LD, traces...
- - - Date de changement de moyenne
- Moyenne avant/après rupture

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	Aucune tendance significative détectée	7.1e-02
Mann-Kendall modifié		
Régression linéaire	Aucune tendance significative détectée	1.9e-01

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Buishand)	05/08/2003	<0.05
Inversion de tendance	Test non effectué (pas assez de données)	

Caractéristiques de la chronique

Nombre de données : 19
 Longueur de la chronique : 6628 jours (18.2 années)
 Taux de quantification : 100 %

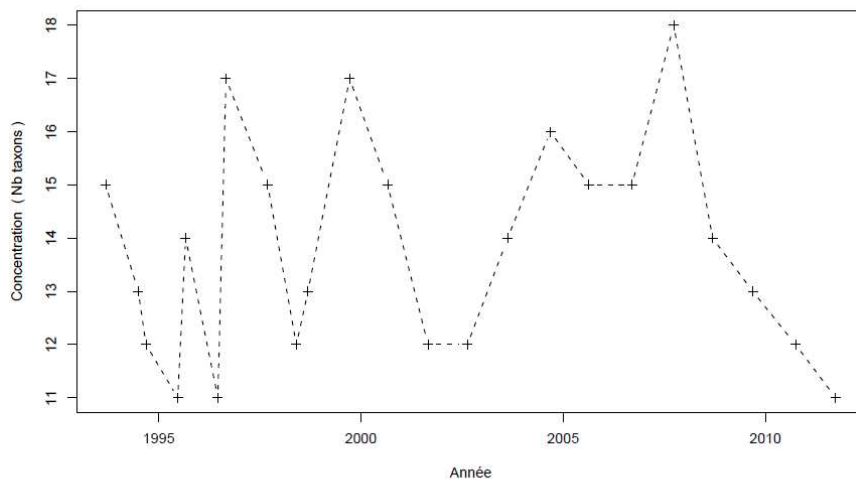
Données non autocorrélées

Données normalement distribuées
 (pval-Shapiro= 6.8e-01)

Moyenne des données avant/après rupture

Moyenne	
Avant rupture	36 Nb taxons
Après rupture	40.75 Nb taxons

2067800 / S_POI



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur <LQ, <LD, traces...

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	Aucune tendance significative détectée	8.5e-01
Mann-Kendall modifié		
Régression linéaire	Aucune tendance significative détectée	8.4e-01

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Buishand)	Pas de rupture significative détectée	
Inversion de tendance	Pas d'inversion significative détectée	

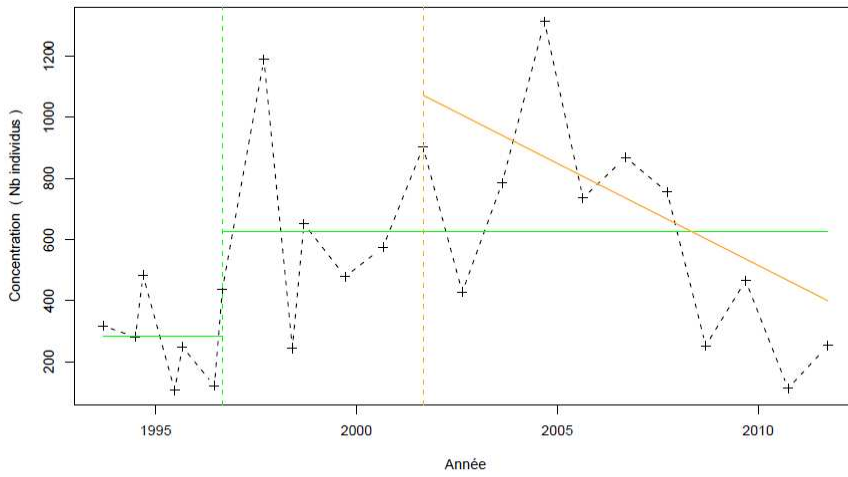
Caractéristiques de la chronique

Nombre de données : 23
 Longueur de la chronique : 6593 jours (18.1 années)
 Taux de quantification : 100 %

Données non autocorrélées

Données normalement distribuées
 (pval-Shapiro= 1.5e-01)

2067800 / Q_POI



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur >LQ
- o Valeur <LQ, <LD, traces...
- - - Date de changement de moyenne
- Moyenne avant/après rupture
- - - Date d'inversion de tendance
- Tendance avant/après rupture

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	Aucune tendance significative détectée	3.5e-01
Mann-Kendall modifié	Aucune tendance significative détectée	4.9e-01

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Buishand)	30/08/1996	<0.05
Inversion de tendance	29/08/2001	1.6e-02

Caractéristiques de la chronique

Nombre de données : 23
 Longueur de la chronique : 6593 jours (18.1 années)
 Taux de quantification : 100 %

Données non autocorrélées

Données normalement distribuées
 (pval-Shapiro= 8.2e-02)

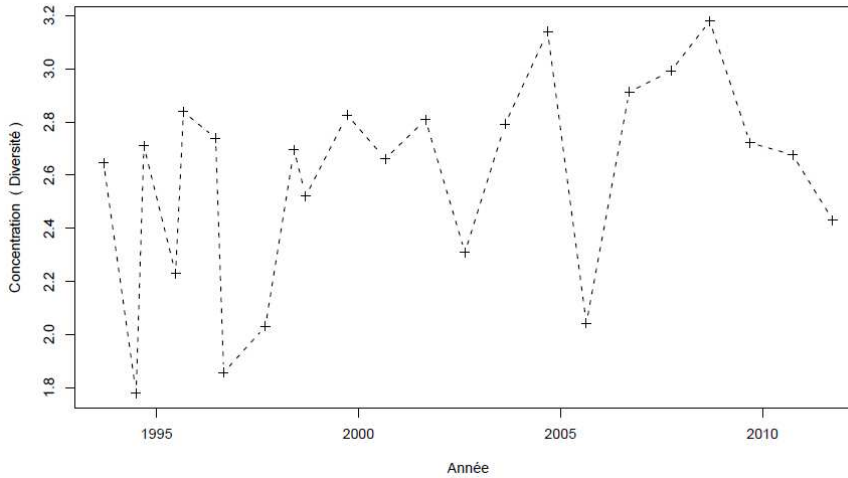
Moyenne des données avant/après rupture

Moyenne	
Avant rupture	285.43 Nb individus
Après rupture	626.06 Nb individus

Tendance avant/après inversion

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall avant inversion	Pas de tendance significative détectée	NA
Mann-Kendall après inversion	-6.66e+01 Nb individus /an	4.1e-02

2067800 / H_POI



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur >LQ
- o Valeur <LQ, <LD, traces...

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	Aucune tendance significative détectée	9.1e-02
Mann-Kendall modifié	Aucune tendance significative détectée	8.4e-02

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Buishand)	Pas de rupture significative détectée	
Inversion de tendance	Pas d'inversion significative détectée	

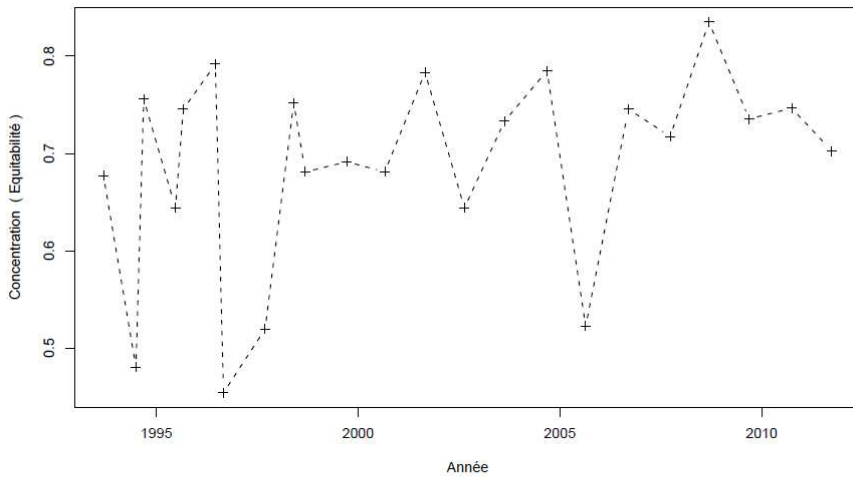
Caractéristiques de la chronique

Nombre de données : 23
 Longueur de la chronique : 6593 jours (18.1 années)
 Taux de quantification : 100 %

Données non autocorrélées

Données normalement distribuées
 (pval-Shapiro= 9.9e-02)

2067800 / E_POI



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur <LQ, <LD, traces...

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	Aucune tendance significative détectée	1.6e-01
Mann-Kendall modifié		
Régression linéaire	Non effectué (données non normalement distribuées)	

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Pettitt)	Pas de rupture significative détectée	
Inversion de tendance	Pas d'inversion significative détectée	

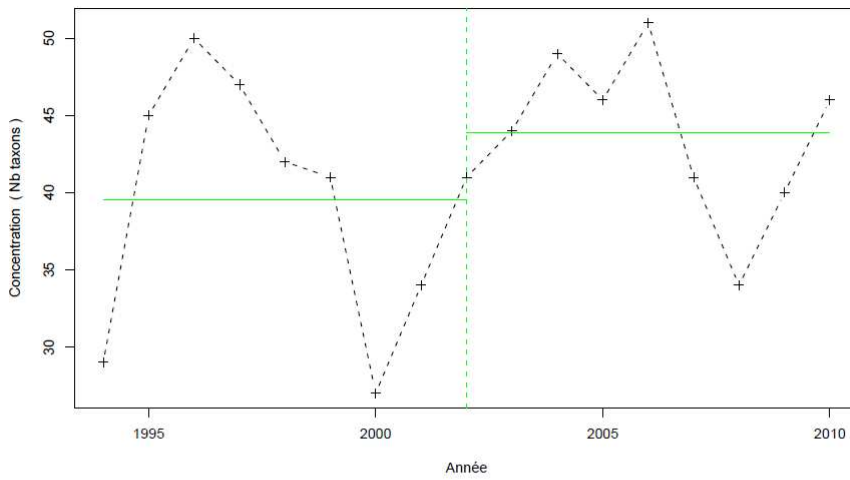
Caractéristiques de la chronique

Nombre de données : 23
 Longueur de la chronique : 6593 jours (18.1 années)
 Taux de quantification : 100 %

Données non autocorrélées

Données non normalement distribuées
 (pval-Shapiro= 8.9e-03)

2067800 / S_INV



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur <LQ, <LD, traces...
- - - Date de changement de moyenne
- Moyenne avant/après rupture

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	Aucune tendance significative détectée	9e-01
Mann-Kendall modifié		
Régression linéaire	Aucune tendance significative détectée	5.9e-01

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Buisland)	01/01/2002	<0.05
Inversion de tendance	Test non effectué (pas assez de données)	

Moyenne des données avant/après rupture

Moyenne	
Avant rupture	39.56 Nb taxons
Après rupture	43.88 Nb taxons

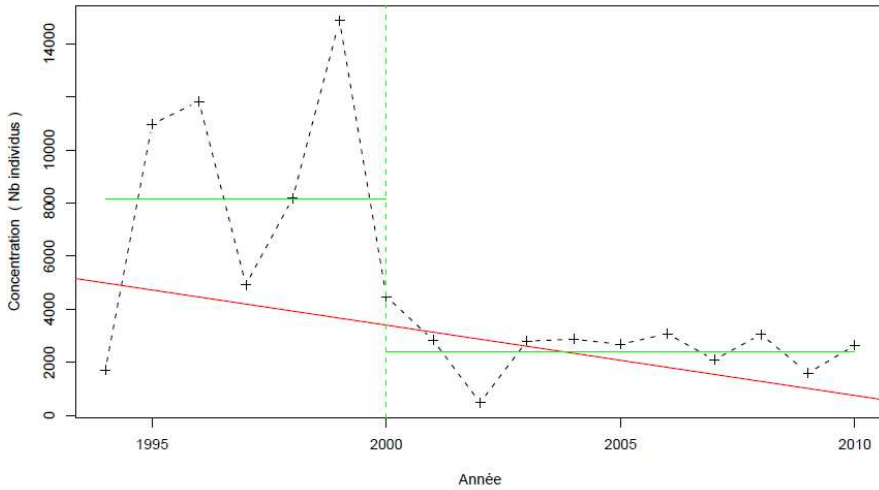
Caractéristiques de la chronique

Nombre de données : 17
 Longueur de la chronique : 5844 jours (16 années)
 Taux de quantification : 100 %

Données non autocorrélées

Données normalement distribuées
 (pval-Shapiro= 1.9e-01)

2067800 / Q_INV



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur <LQ, <LD, traces...
- Tendence (Mann-Kendall)
- - - Date de changement de moyenne
- Moyenne avant/après rupture

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	-2,65e+02 Nb individus /an	2,7e-02
Mann-Kendall modifié		
Régression linéaire	Non effectué (données non normalement distribuées)	

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Petitt)	01/01/2000	0,034620066814
Inversion de tendance	Test non effectué (pas assez de données)	

Moyenne des données avant/après rupture

	Moyenne
Avant rupture	8137,86 Nb individus
Après rupture	2416 Nb individus

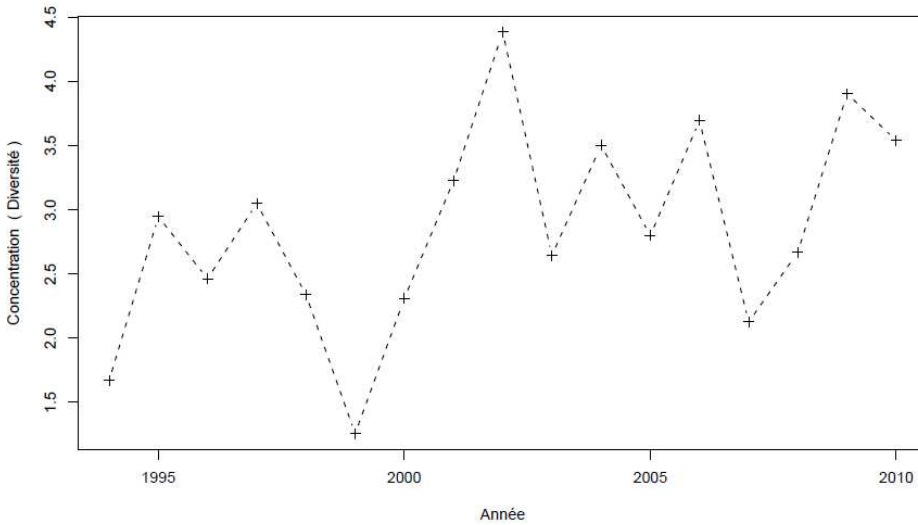
Caractéristiques de la chronique

Nombre de données : 17
 Longueur de la chronique : 5844 jours (16 années)
 Taux de quantification : 100 %

Données non autocorrélées

Données non normalement distribuées
 (pval-Shapiro= 1,3e-03)

2067800 / H_INV



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur <LQ, <LD, traces...

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	Aucune tendance significative détectée	7,6e-02
Mann-Kendall modifié		
Régression linéaire	Aucune tendance significative détectée	

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Buishand)	Pas de rupture significative détectée	
Inversion de tendance	Test non effectué (pas assez de données)	

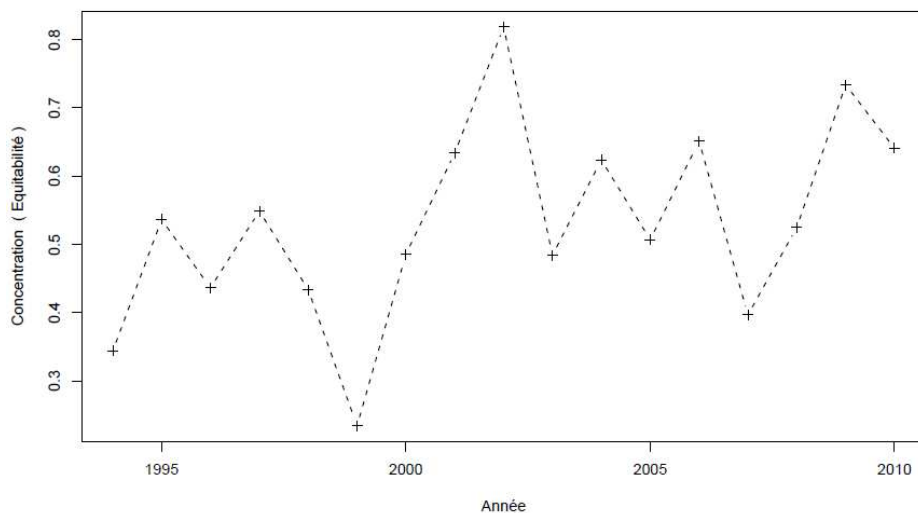
Caractéristiques de la chronique

Nombre de données : 17
 Longueur de la chronique : 5844 jours (16 années)
 Taux de quantification : 100 %

Données non autocorrélées

Données normalement distribuées
 (pval-Shapiro= 1e+00)

2067800 / E_INV



Légende

- - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur <LQ, <LD, traces...

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	Aucune tendance significative détectée	6.3e-02
Mann-Kendall modifié		
Régression linéaire	Aucune tendance significative détectée	6.5e-02

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Buishand)	Pas de rupture significative détectée	
Inversion de tendance	Test non effectué (pas assez de données)	

Caractéristiques de la chronique

Nombre de données : 17
 Longueur de la chronique : 5844 jours (16 années)
 Taux de quantification : 100 %

Données non autocorrélées

Données normalement distribuées
 (pval-Shapiro= 1e+00)

Annexe 7 : Résultats des tests de tendances et de changement de moyennes sur la physico-chimie

La Meuse à Bassoncourt et Goncourt

	Caractérisation des données		Tendances		Test appliqué	02106600	02106500	02106600	02106500	02106600
	p-value	Normalité	p-value							
Ammonium	5,27E-31	7,23E-15	Non	Non	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	Mann-Kendall	Mann-Kendall
Azote Kjeldahl	1,95E-17	1,31E-15	Non	Non	0,0163	0,0000	0,0000	0,0000	Mann-Kendall	Mann-Kendall
Chlorophylle a	7,27E-21	1,23E-22	Non	Non	0,0050	0,0000	0,0000	0,0000	Mann-Kendall mensuel	Mann-Kendall mensuel
Conductivité	5,83E-09	1,98E-11	Non	Non	0,9747	0,0400	0,0000	0,0000	Mann-Kendall mensuel	Mann-Kendall mensuel
D.C.O.	8,92E-19	4,10E-07	Non	Non	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	Mann-Kendall mensuel	Mann-Kendall mensuel
DBO5 à 20°C	3,87E-28	1,69E-12	Non	Non	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	Mann-Kendall	Mann-Kendall
Matières en suspension	2,07E-26	9,10E-28	Non	Non	0,0046	0,1944	0,0000	0,0000	Mann-Kendall mensuel	Mann-Kendall mensuel
Nitrates	1,33E-12	6,10E-05	Non	Non	0,0330	0,3248	0,0000	0,0000	Mann-Kendall mensuel	Mann-Kendall mensuel
Nitrites	5,24E-22	9,09E-17	Non	Non	0,2324	0,3479	0,0000	0,0000	Mann-Kendall mensuel	Mann-Kendall mensuel
Orthophosphates	3,29E-31	1,33E-25	Non	Non	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	Mann-Kendall mensuel	Mann-Kendall mensuel
Oxygène dissous	0,0113	6,22E-05	Non	Non	0,0695	0,2643	0,0000	0,0000	Mann-Kendall mensuel	Mann-Kendall mensuel
pH	0,0010	2,94E-05	Non	Non	0,0013	0,7987	0,0000	0,0000	Mann-Kendall mensuel	Mann-Kendall mensuel
Phosphore total	5,14E-30	4,90E-25	Non	Non	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	Mann-Kendall mensuel	Mann-Kendall mensuel
Taux de saturation en O2	2,55E-05	3,46E-05	Non	Non	0,3367	0,5170	0,0000	0,0000	Mann-Kendall mensuel	Mann-Kendall mensuel
Température de l'Eau	1,13E-05	8,44E-08	Non	Non	0,0006	0,0000	0,0000	0,0000	Mann-Kendall mensuel	Mann-Kendall mensuel

Tendances (suite)

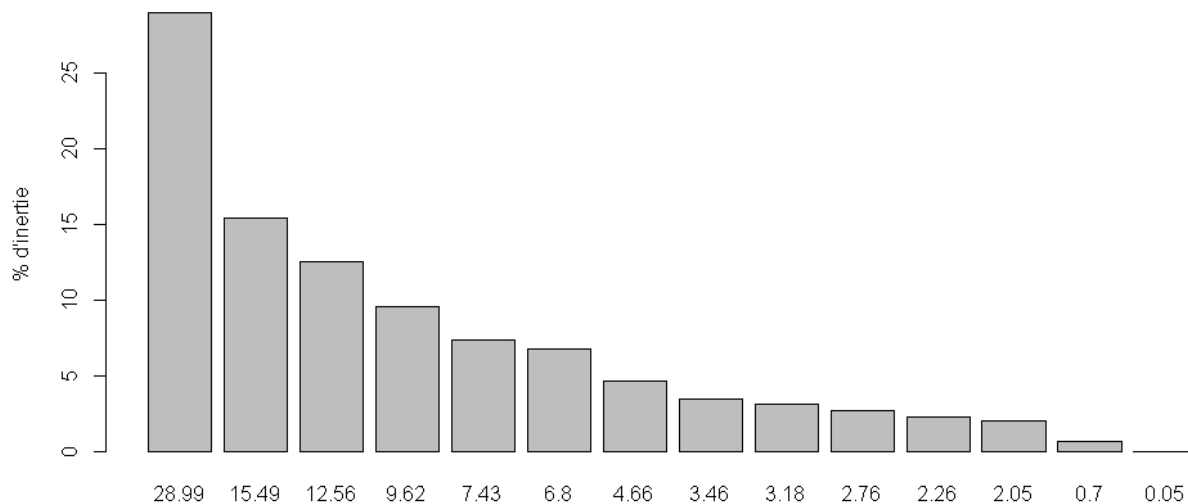
Sens		Pente		Rupture de pente		Date de rupture de pente		Moyenne avant-après	
				p-value					
02106500	02106600	02106500	02106600	02106500	02106600	02106500	02106600	02106500	02106600
Ammonium	↘	-0,0119 mg(NH4)/L/an	-0,00755 mg(NH4)/L/an	0,0000	0,0000				
Azote Kjeldahl	↘	-0,0175 mg(N)/L/an	-0,0298 mg(N)/L/an	0,0004	0,0000	2003	2003	1,82 - 1,24	
Chlorophylle a	↘	-0,13 µg/L/an	-0,249 µg/L/an	0,0027	0,0000	2005	2005	8,79 - 4,28	
Conductivité	↗	3,32 µS/cm/an	3,32 µS/cm/an	0,1734	0,0033	2002	2002		572,6 - 674,5
D.C.O.	↘	-0,349 mg(O2)/L/an	-0,333 mg(O2)/L/an	0,0006	0,0000	2003	2003	24,1 - 18,3	
DBO5 à 20°C	↘			0,0000	0,0000				
Matières en suspension	↗	0,218 mg/L/an		0,0085	0,1398	2005	2005	19 - 19,78	
Nitrates	↘	0,132 mg(NO3)/L/an		0,0769	0,3449				
Nitrites				0,0703	0,0167	1996	1996		0,085 - 0,12
Orthophosphates	↘	-0,021 mg(PO4)/L/an	-0,0314 mg(PO4)/L/an	0,0000	0,0000				
Oxygène dissous				0,0073	0,1592	1997	1997	8,02 - 9,33	
pH	↗	0,00665 unité pH/an		0,0000	0,2279				
Phosphore total	↘	-0,015 mg(P)/L/an	-0,0197 mg(P)/L/an	0,0000	0,0000				
Taux de saturation en O2				0,0015	0,0021	1997	2004	73,6 - 83,05	90,37 - 80,12
Température de l'Eau	↘	-0,0831 °C/an	-0,165 °C/an	0,3686	0,0500				

La Vezouze à Thiébauménil

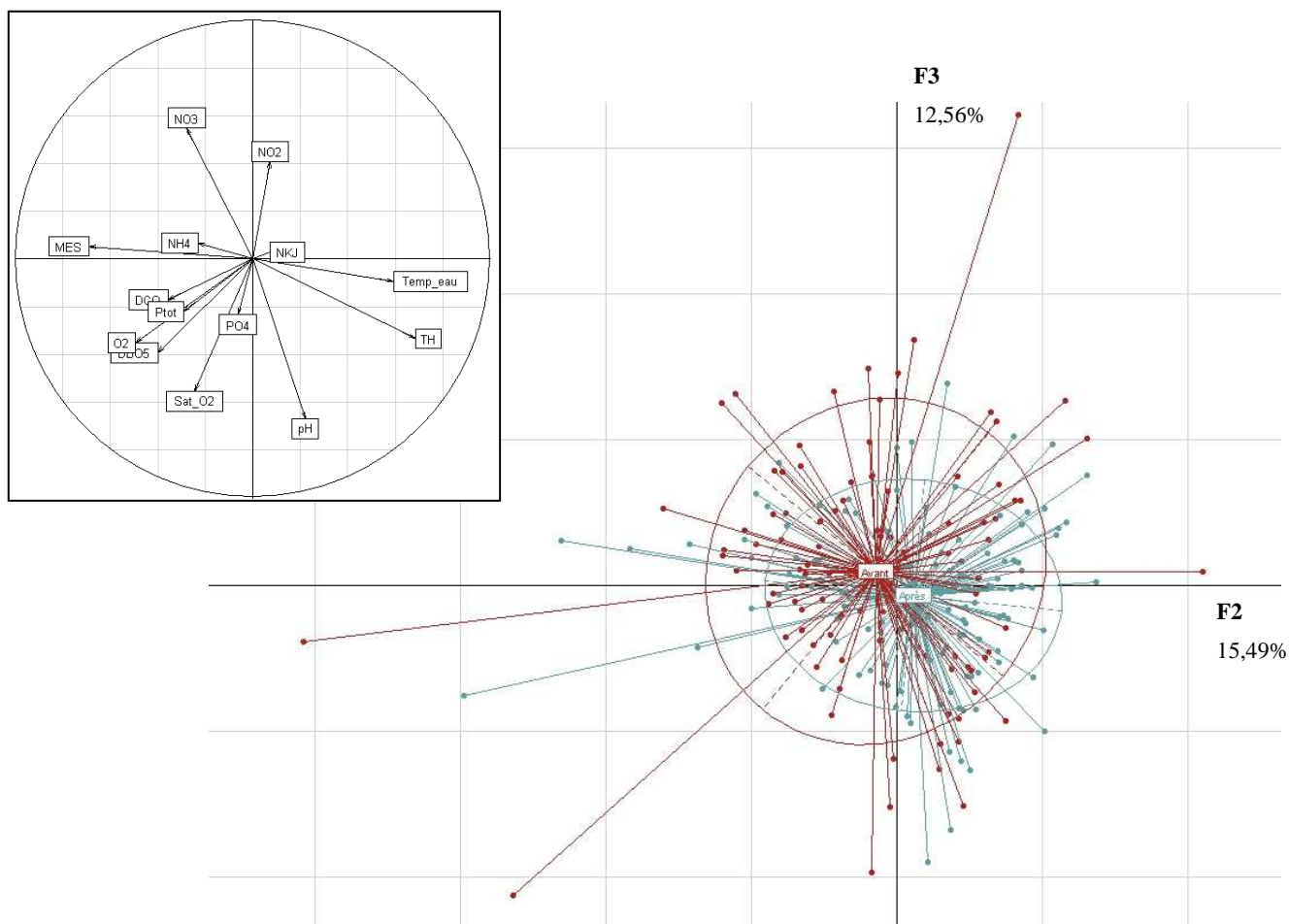
	Caractérisation des données			Tendances			Ruptures		
	p-value	Normalité	p-value	Test appliqué	Sens	Pente	p-value	Date de rupture	Moyenne avant-après
Ammonium	1,14E-15	Non	0,0028	Mann-Kendall mensuel	↘	-0,00125 mg(NH4)/L/an	0,0129	2004	0,10 - 0,08
Azote Kjeldahl	8,02E-14	Non	0,0053	Mann-Kendall	↗	0,0112 mg(N)/L/an	0,0000		
Chlorophylle a	1,65E-12	Non	0,8378	Mann-Kendall			0,3733		
Conductivité	0,1938	Oui	0,0001	Régression linéaire	↗	3,24 µS/cm/an	<0,05	2007	408 - 458
D.C.O.	4,11E-16	Non	0,0100	Mann-Kendall mensuel	↘	-0,167 mg(O2)/L/an	0,0094	2001	15,62 - 13,29
DBO5 à 20°C	1,88E-21	Non	0,0000	Mann-Kendall			0,0000		
Matières en suspension	5,82E-24	Non	0,1561	Mann-Kendall mensuel			0,3029		
Nitrates	1,35E-13	Non	0,0116	Mann-Kendall mensuel	↘	-0,0629 mg(NO3)/L/an	0,0009	1998	11,1 - 9
Nitrites	2,88E-14	Non	0,0006	Mann-Kendall mensuel	↘	-0,00124 mg(NO2)/L/an	0,0001		
Orthophosphates	7,55E-09	Non	0,0000	Mann-Kendall mensuel	↘	-0,00882 mg(PO4)/L/an	0,0000		
Oxygène dissous	0,0329	Non	0,0004	Mann-Kendall mensuel	↘	-0,0365 mg(O2)/L/an	0,0103	1998	10,7 - 10
pH	9,46E-13	Non	0,0041	Mann-Kendall	↗	0,00267 unité pH/an	0,0000		
Phosphore total	3,46E-12	Non	0,0000	Mann-Kendall mensuel	↘	-0,00602 mg(P)/L/an	0,0000		
Taux de saturation en O2	1,06E-06	Non	0,0000	Mann-Kendall	↘	-0,437%/an	0,0000		
Température de l'Eau	4,50E-05	Non	0,0324	Mann-Kendall mensuel	↘	-0,0549 °C/an	0,5415		

Annexe 8 : Résultats des ACP

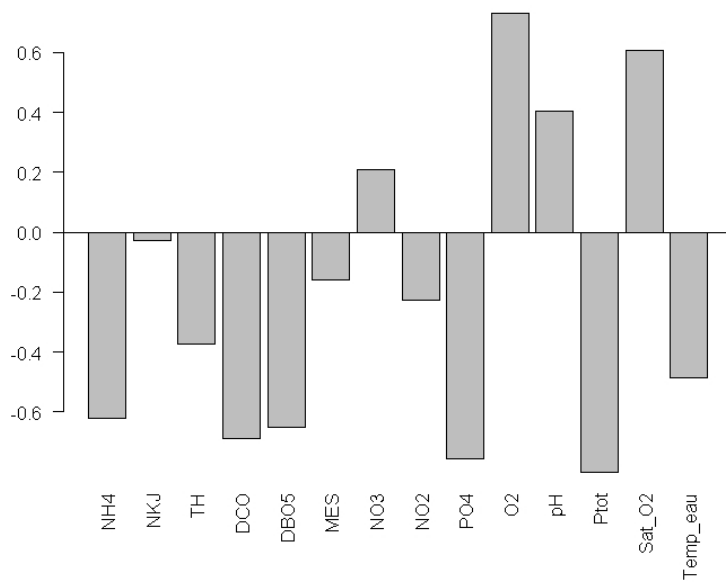
La Meuse à Bassoncourt



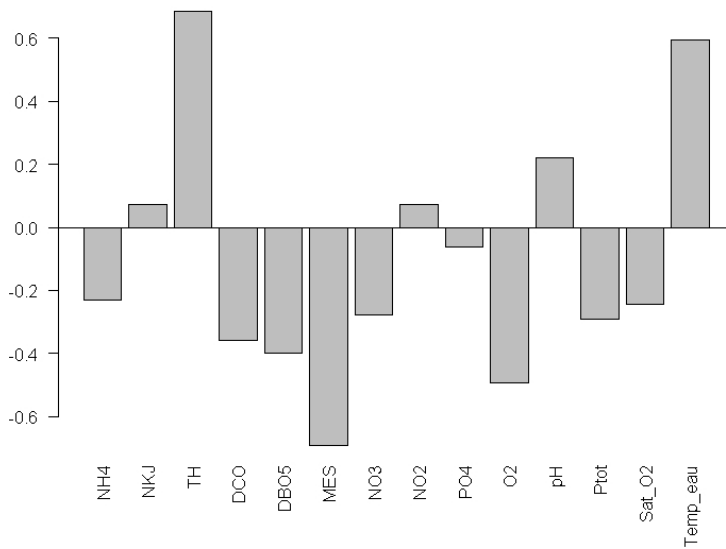
Éboulis des valeurs propres en %



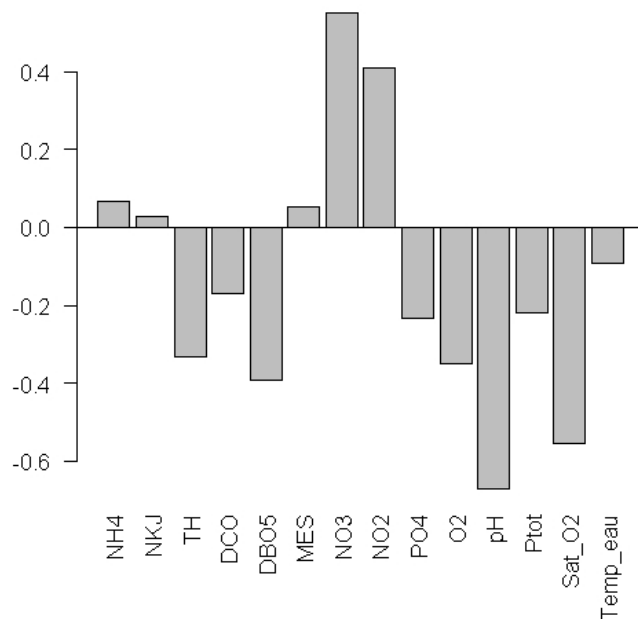
Classement des individus après changement de moyenne sur la Meuse à Bassoncourt selon les axes 2 et 3



Profil des coordonnées des variables sur la première composante

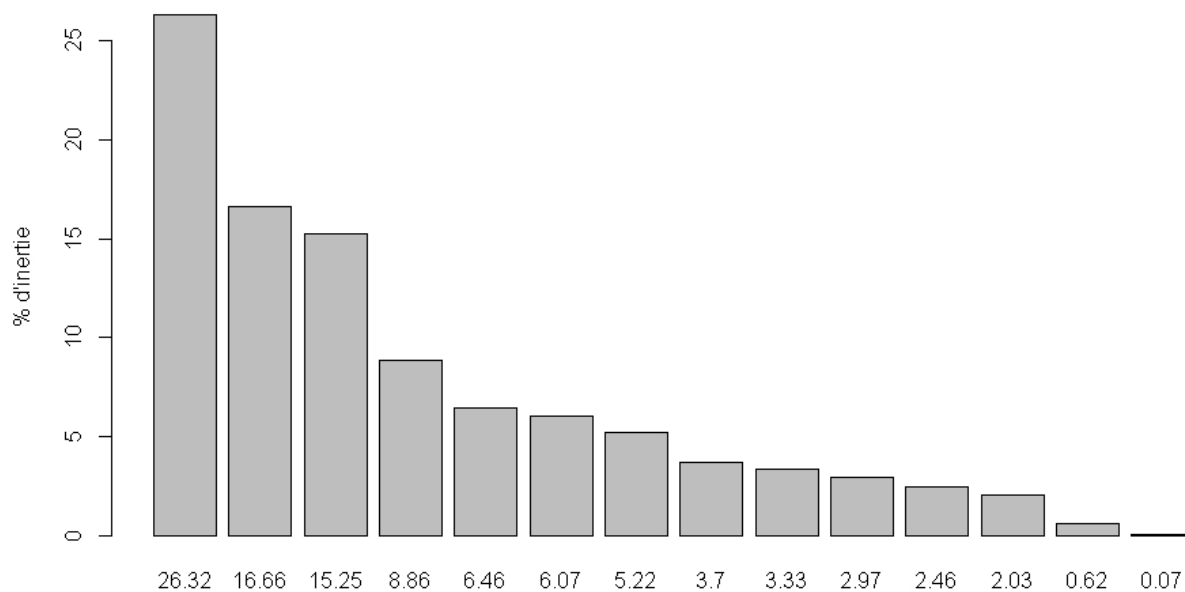


Profil des coordonnées des variables sur la deuxième composante

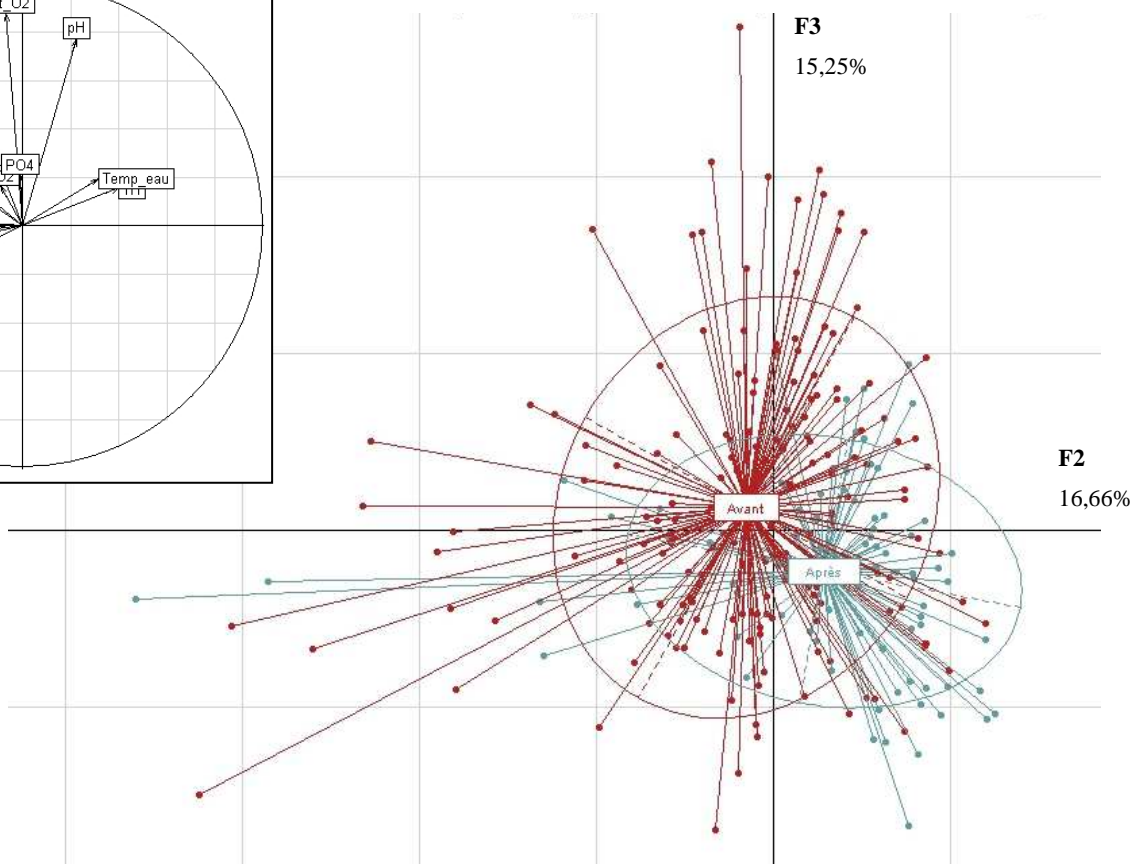
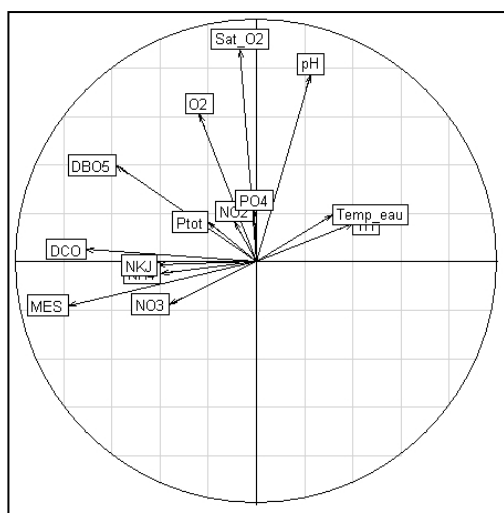


Profil des coordonnées des variables sur la troisième composante

La Meuse à Goncourt

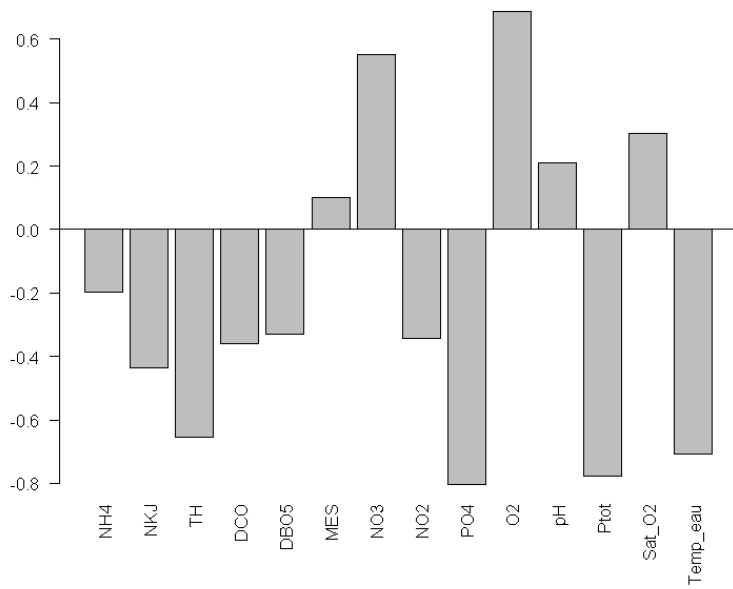


Eboulis des valeurs propres en %

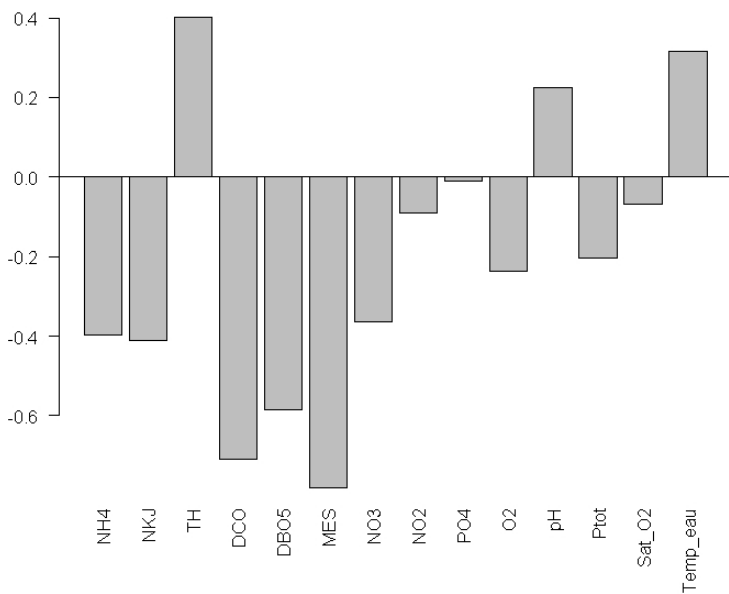


Classement des individus avant et après changement de moyenne sur la Meuse à Goncourt selon les axes 2 et

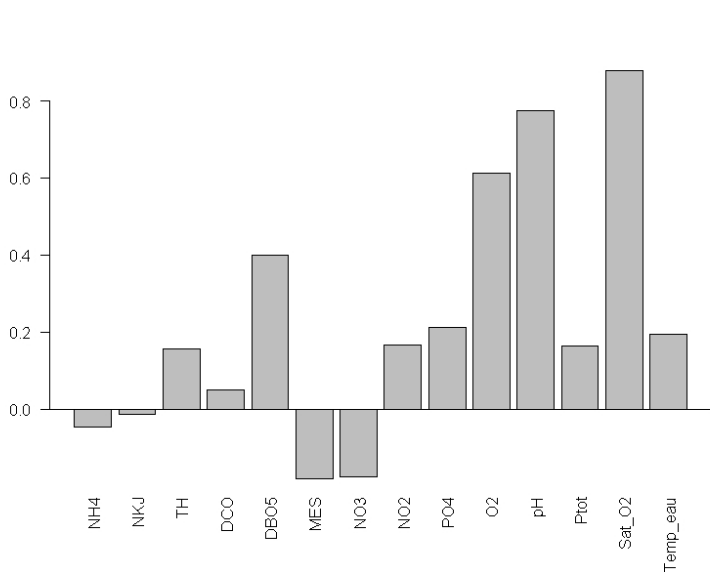
3



Profil des coordonnées des variables sur la première composante

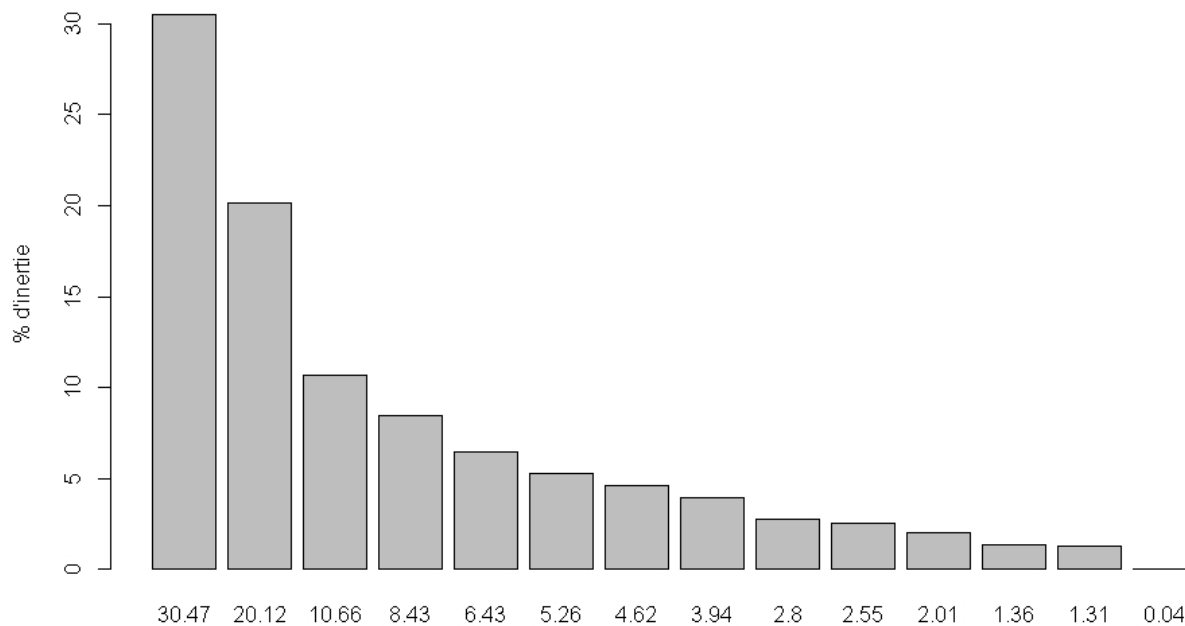


Profil des coordonnées des variables sur la deuxième composante

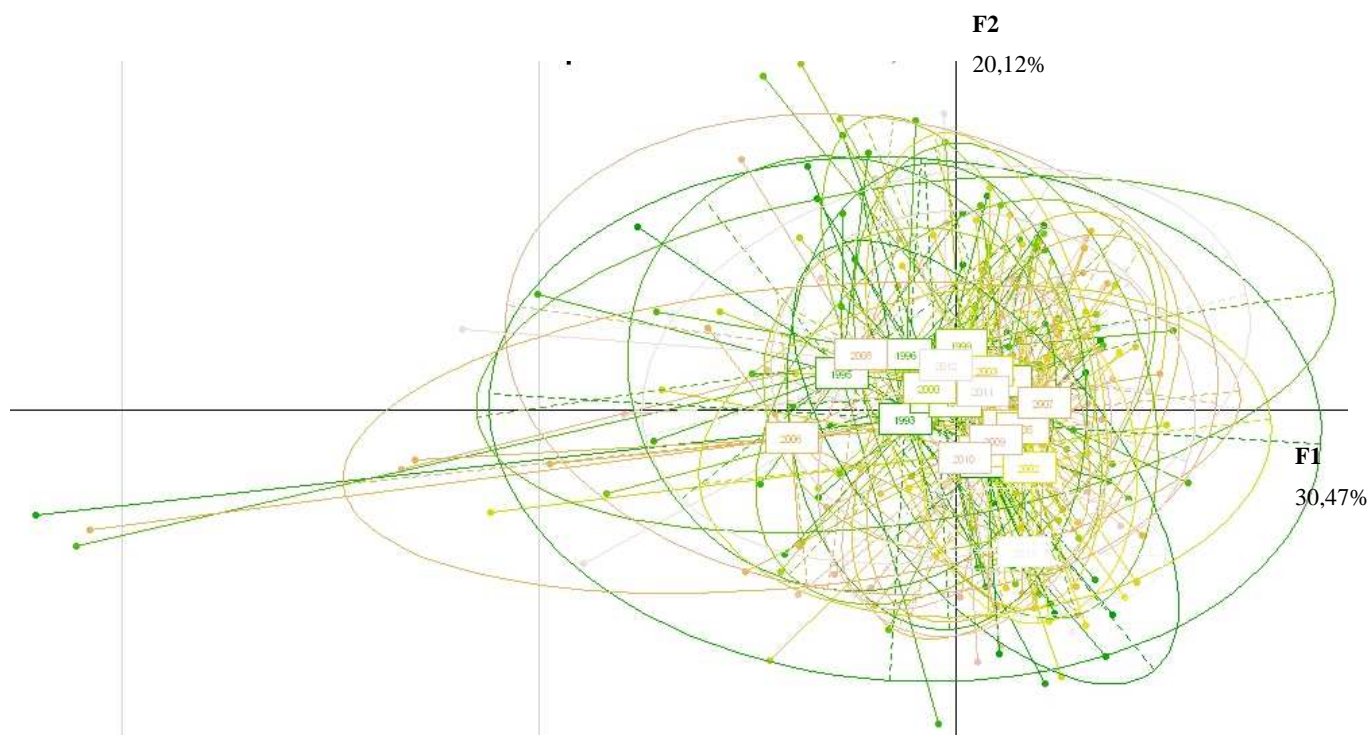


Profil des coordonnées des variables sur la troisième composante

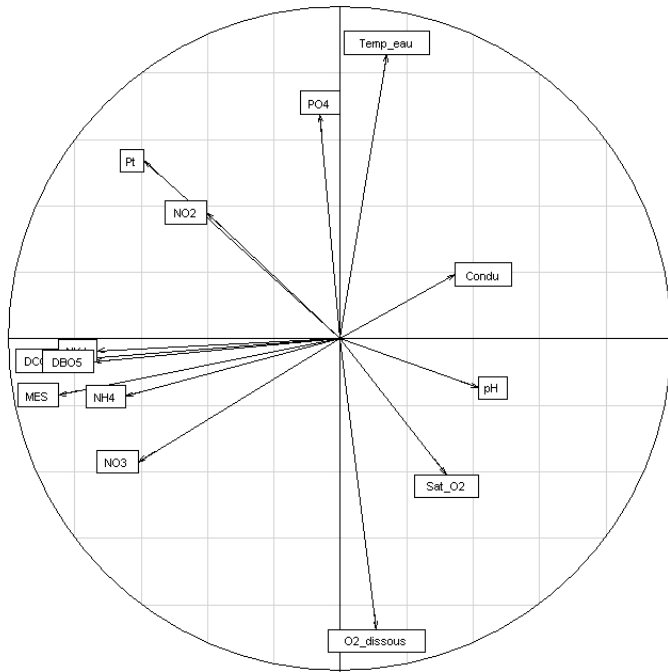
La Vezouze à Thiébauménil



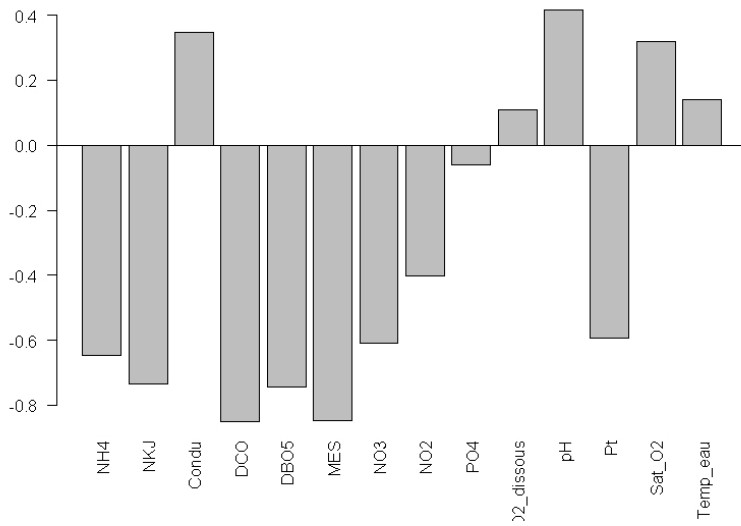
Eboulis des valeurs propres en %



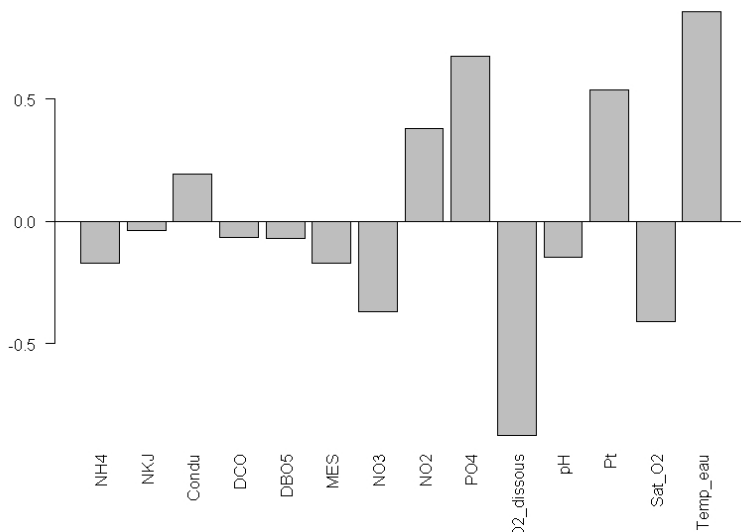
Classement des individus avant et après changement de moyenne sur la Vezouze à Thiébauménil



Cercle des corrélations sur les axes 1 et 2



Profil des coordonnées des variables sur la première composante



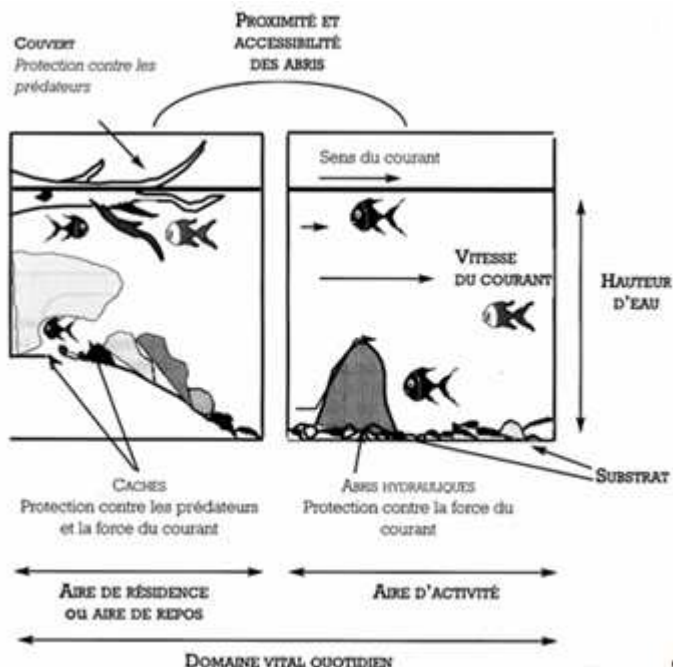
Profil des coordonnées des variables sur la deuxième composante

Glossaire

Biocénose : Ensemble des organismes vivants (animaux et végétaux dont microorganismes) qui occupent un écosystème donné. Ce groupement d'êtres vivants est caractérisé par une composition spécifique déterminée et par l'existence de phénomènes d'interdépendance. Il occupe un espace que l'on appelle biotope et constitue avec lui l'écosystème. Une biocénose se modifie au cours du temps (phase pionnière, phase intermédiaire et phase d'équilibre). (Source : [Glossaire EauFrance](#))

Force motrice : Regroupe les acteurs économiques et les activités associées, non nécessairement marchandes : agriculture, population, activités industrielles.... Ces "forces motrices" représentent les causes fondamentales des pressions. (Source : [MEDD, Aquascop, 2003](#))⁷

Habitat : Environnement physique conditionnant la vie d'une espèce à un stade donné. Il est généralement décrit par des variables physiques comme la hauteur d'eau, la vitesse de courant et le substrat. Au cours de la journée et selon l'activité de la journée, les poissons utilisent différents types d'abris : des sous berges, des macrophytes, des blocs. Au sens de la directive 92/43/CEE, milieu dans lequel vit une espèce ou un groupe d'espèces animales ou végétales (par exemple, les tourbières, les roselières d'estuaire, les chênaies, ...). Ce sont des zones terrestres ou aquatiques possédant des caractéristiques biogéographiques et géologiques particulières. (Source : [Glossaire EauFrance](#), d'après Irstea)



Masse d'eau : la masse d'eau est une notion introduite par la DCE. C'est une portion de cours d'eau, canal, aquifère, plan d'eau ou zone côtière homogène. Il s'agit d'un découpage élémentaire des milieux aquatiques destiné à être l'unité d'évaluation de la DCE.

Une masse d'eau de surface est une partie distincte et significative des eaux de surface, telles qu'un lac, un réservoir, une rivière, un fleuve ou un canal, une partie de rivière, de fleuve ou de canal, une eau de transition ou une portion d'eaux côtières. Pour les cours d'eau, la délimitation des masses

⁷ MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE (MEDD), AQUASCOP, 2003. Mise en œuvre de la DCE. Identification des pressions et des impacts. Guide méthodologique version 4.1. 147p.

d'eau est basée principalement sur la taille du cours d'eau, la notion d'hydro-écorégion et les pressions qui s'y exercent. Les masses d'eau sont regroupées en types homogènes qui servent de base à la définition de la notion de bon état. Une masse d'eau souterraine est un volume distinct d'eau souterraine à l'intérieur d'un ou de plusieurs aquifères. (Source : [Glossaire EauFrance](#))

Le bassin Rhin-Meuse compte 614 masses d'eau « cours d'eau », homogènes dans leurs caractéristiques physiques et géographiques (typologie) ainsi que dans les activités humaines qui s'exercent sur leur territoire (pressions physico-chimiques et hydromorphologiques). C'est le réseau principal des cours d'eau qui a été traité par ces filtres (cours d'eau dont la surface du bassin versant est supérieure à 10km²).

Pression : qui est la traduction des Forces Motrices (rejets, prélèvements d'eau, artificialisation des milieux aquatiques, captures de pêche ...) et à l'origine d'un changement d'état dans l'espace ou dans le temps. (Source : [MEDD, Aquascop, 2003](#))

Une pression anthropique est une modification structurelle sur une unité hydrographique (un bassin, secteur de bassin ou sous-bassin), due aux activités humaines, qui engendre directement ou indirectement une modification des paramètres environnementaux subie par les peuplements aquatiques. Par exemple : cultures intensives, rejets urbains ou industriels, aménagements morphologiques, prélèvements ou détournement d'eau, barrages. (Source : [Cemagref](#))⁸

Processus physiques : Caractéristiques dynamiques du cours d'eau (flux solides, flux liquides, processus d'érosion latérale et verticale, processus de sédimentation) à l'origine des formes physiques du cours d'eau (c'est à dire de ses caractéristiques géomorphologiques). ([Chandesris et al., 2008](#))

Structure : Caractéristiques géomorphologiques du cours d'eau (géométrie en plan, en travers et en long, granulométrie, etc....). ([Chandesris et al., 2008](#))

⁸ <https://hydrobio-dce.cemagref.fr>