



**OBSERVATOIRE DES RIVIERES DU
PARC NATUREL REGIONAL
NORMANDIE-MAINE**

**Rapport final analytique
des trois phases**

Rapport réalisé par :
Jacques HAURY
Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie
de RENNES

Septembre 1999



COMMUNAUTE EUROPEENNE
Fonds européen d'orientation et de
garantie agricole

PARC NATUREL RÉGIONAL
NORMANDIE-MAINE
MAISON DU PARC
B.P. 5
61320 CARROUGES

FONCTIONNEMENT DES PETITS HYDROSYSTÈMES

ANALYSÉ PAR L'OBSERVATOIRE DES RIVIÈRES
DU PARC NATUREL RÉGIONAL NORMANDIE-MAINE.

APPLICATION À LA GESTION INTÉGRÉE DES TÊTES DE BASSIN VERSANT.

RAPPORT FINAL

MILIEUX ET METHODES D'ETUDES

*ANALYSES MULTI-COMPARTIMENTS :
UNE VISION GENERALE À L'ÉCHELLE DE LA STATION
MACROPHYTES ET POISSONS À L'ÉCHELLE DU FACIÈS D'ÉCOULEMENT*

BILAN DE LA RESTAURATION DU TILLEUL

RECOMMANDATIONS PROVISOIRES

**Jacques HAURY (1,2), Manuel BIANNIC (1,2), Patrick GALIGAULT (3)
Samuel COIFFARD (1) et Arnaud RICHARD (4)**

pour le groupe de travail :

M. BIANNIC (1,2), J.P. BOMBONEL (4), D. BONO (1,2), F. BREHIER (5), S. COIFFARD
(1,2,5), P. DALIGAULT (3), C. DUBY (1,2), A. GARCIA (1,2), L. GODON (1), J. HAURY
(1,2), E. HORNIER (5), F. LIEGEY (1,5), E. PLOMBIN (4), A. RICHARD (4), A.
STRACCHI (1,2), P. THEVENIN (1,2)
et les Gardes du C.S.P.

(1) : Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes, Laboratoire d'Ecologie & Sciences Phytosanitaires,
65, rue de Saint Briec - F35042 RENNES Cedex

(2) : Institut National de la Recherche Agronomique, Laboratoire d'Ecologie Aquatique, 65, rue de Saint
Briec - F35042 RENNES Cedex

(3) : Hydrobio, 7 rue du Calvaire - F 50240 SAINT-LAURENT-DE-TERREGATE

(4) Conseil Supérieur de la Pêche, Délégation régionale Bretagne-Basse Normandie, Citis Le Pentacle - F
14209 HEROUVILLE / SAINT-CLAIR Cedex

(5) : Parc Naturel Régional Normandie-Maine, Maison du Parc, B.P. 5 - 61320 CARROUGES

Décembre 1999

SOMMAIRE

| | |
|---|---|
| Avant-propos : déroulement de l'étude. | 4 |
| Remerciements | 5 |
| Résumé | 6 |
| Summary | 7 |
| Introduction : améliorer les connaissances pour agir | 8 |
| - Une problématique spécifique des petits cours d'eau | 8 |
| - Le cadre de l'étude | 9 |
| - Des questions fondamentales et appliquées | 9 |

A - LE CADRE

| | |
|---|-----------|
| 1 : MILIEUX ET METHODES D'ETUDE | 11 |
| 11 - Milieux d'étude | 11 |
| 111 - Le Parc Naturel Régional Normandie-Maine et les caractéristiques de ses hydrosystèmes | 11 |
| 112 - Le Tilleul : bassin versant et stations d'étude | 16 |
| 12 - Des méthodes d'étude rapportées aux objectifs | 18 |
| 121 - A l'échelle du bassin versant : indicateurs liés à l'usage de l'espace | 18 |
| 122 - A l'échelle de la station hydrobiologique : des méthodologies désormais confirmées | 19 |
| 13 - Traitement des données | 30 |
| 131 - Analyse simple des compartiments et métriques de l'environnement | 30 |
| 132 - Analyses multidimensionnelles | 31 |

B - LES BASSINS VERSANTS

| | |
|--|-----------|
| 2 - BASSINS VERSANTS | 33 |
| 21 - Caractéristiques physiques des bassins versants (Annexe 3) | 33 |
| 211 - Importance des bassins | 33 |
| 212 - Morphologie des bassins | 33 |
| 22 - Caractéristiques géologiques (Annexe 3) | 35 |
| 23 - Caractéristiques d'occupation de l'espace des bassins versants (Annexe 3) | 35 |
| 231 - Résultats généraux : types d'occupation de l'espace | 35 |
| 232 - Haies | 36 |
| 233 - Zones au contact des cours d'eau (Annexe 3) | 37 |

C - LES RESULTATS HYDROBIOLOGIQUES DES STATIONS DE L'OBSERVATOIRE

| | |
|---|----------------|
| 3 - RESULTATS DE LA PHASE 2 | 38 |
| 31 - Etat des compartiments | 38 |
| 311 - Physico-chimie des eaux | 38 |
| 312 - Milieu physique | 41 |
| 313 - Macrophytes (et végétation ripicole) | 41 |
| 314 - Invertébrés benthiques | 48 |
| 315 - Poissons | 49 |
| 32 - Analyse à l'échelle du segment sur données brutes | 53 |
| 321 - Caractérisation physique de l'habitat | 53 |
| 322 - Qualité physico-chimique de l'eau | 57 |
| 323 - Macrophytes | 59 |
| 324 - Invertébrés benthiques | 65 |
| 325 - Poissons | 71 |
| 33 - Analyse multi-compartiments par A.F.M. | 75 |
| 331 - Analyse générale prenant en compte toutes les variables de tous les groupes. | 75 |
| 332 - Analyse restreinte prenant en compte les taxons les mieux représentés | 81 |
| 34 - Analyse multi-compartiments à l'échelle du segment sur données transformées | 85 |
| 341 - Présentation des données transformées | 85 |
| 342 - Résultats de l'A.F.M. | 86 |
| 35 - Conclusion sur l'état de ces stations | 90 |
| 351 - Bilan général de l'état des cours d'eau | 90 |
| 352 - Questions soulevées et intérêt des études complémentaires | 92 |
| 4 - RESULTATS GENERAUX DE LA PHASE 3 | 93 |
| 41 - Etat des compartiments | 93 |
| 411 - Physico-chimie des eaux et relations chimie-débit | 93 |
| 412 - Milieu physique | 96 |
| 413 - Macrophytes et végétation ripicole | 100 |
| 414 - Invertébrés benthiques | 105 |
| 415 - Poissons | 113 |
| 42 - Analyse multi-compartiments à l'échelle du segment | 117 |
| 421 - Première A.F.M. générale sur l'ensemble des données brutes | 117 |
| 422 - Seconde A.F.M. générale avec sélection des invertébrés | 122 |
| 5- BILAN DE L'AMENAGEMENT DU TILLEUL | 127 |
| 51 - Résultats généraux pour l'ensemble des compartiments | 127 |
| 52 - Résultats particuliers sur la ripisylve et ses interactions avec le cours d'eau | 146 |
| 521 - Analyse cartographique à l'échelle de la station | 147 |
| 522 - Dynamique des brins à l'échelle de l'arbre (Annexe 8) | 147 |
| 523 - Analyse critique de la méthodologie | 155 |
| 6 - EVOLUTION DES PEUPELEMENTS STATIONNELS ENTRE LES TROIS PHASES | 157 |
| 61 - Résultats par compartiment | 157 |
| 611 - Chimie | 157 |

| | |
|--|------------|
| 612 - Mésologie | 157 |
| 613 - Macrophytes | 159 |
| 614 - Poissons | 159 |
| 62 - Résultats d'ensemble | 160 |
| 621 - Paramètres généraux | 160 |
| 622 - Examen des plans factoriels | 162 |
| 63 - Conclusion : une stabilité précaire et de multiples évolutions dont le déterminisme et l'importance restent à étudier | 166 |
| 7 - DISTRIBUTION DES MACROPHYTES ET DES POISSONS A L'ECHELLE DU FACIÈS D'ÉCOULEMENT | 167 |
| 71 - Analyse par compartiment à l'échelle du faciès pour un même ruisseau | 167 |
| 711 - Analyse par la méthode des profils écologiques (phase 2) | 167 |
| 712 - Analyse multidimensionnelle de la distribution des macrophytes et des poissons pour quelques ruisseaux lors de la phase 3 | 171 |
| 72 - Distribution des macrophytes et des poissons à l'échelle du faciès d'écoulement pour l'ensemble des stations (phase 2). | 173 |
| 721 - Méthode des profils écologiques | 173 |
| 722 - Analyse globale des différents compartiments à l'échelle du faciès d'écoulement pour la phase 2. | 178 |
| 73 - Analyse par Analyses Canoniques des Correspondances des macrophytes et des poissons à l'échelle du faciès d'écoulement pour la phase 3. | 189 |
| 731 - Etude du peuplement pisciaire à l'échelle du faciès d'écoulement | 189 |
| 732 - Etude du peuplement macrophytique à l'échelle du faciès d'écoulement | 191 |
| 74 - Intérêt de cette échelle du faciès d'écoulement et des analyses canoniques des correspondances. | 193 |
| 741 - Comparaison des deux phases analysées par ACC | 193 |
| 742 - Signification de cette échelle du faciès d'écoulement | 193 |
| 8 - DISCUSSION GENERALE : PERSPECTIVES ET RECOMMANDATIONS DE GESTION | 195 |
| 81 - Limites et intérêt de l'étude | 195 |
| 811 - Intérêt du jeu de données | 195 |
| 812 - Limites du jeu de données et de l'étude | 196 |
| 813 - Des méthodes indicielles qui doivent être adaptées aux petits ruisseaux | 198 |
| 8143 - Signification de l'indice truite et prospective sur des indices poissons | 200 |
| 82 - Une démarche spécifique d'étude des petits ruisseaux : de l'acquisition de données scientifiques rigoureuses à l'élaboration d'outils de gestion | 200 |
| 821 - Le problème spécifique des petits ruisseaux | 200 |
| 822 - Mise au point de protocoles allégés de suivi stationnel | 201 |
| 83 - Recommandations de gestion | 202 |
| 831 - Les recommandations de gestion issues de l'étude de cas sur le Tilleul | 202 |
| 832 - Apport du jeu de données pour des recommandations pratiques de gestion | 204 |
| 84 - Perspectives : | 206 |
| 841 - « Transposabilité de l'étude » | 206 |
| 842 - Sensibiliser et former | 207 |
| BIBLIOGRAPHIE | 209 |

Avant-propos : déroulement de l'étude.

Le Parc Normandie-Maine souhaitait mieux connaître ses hydrosystèmes en tête de bassin versant, évaluer leur état ainsi que leur sensibilité aux altérations d'origine anthropique, pour préconiser une gestion rationnelle des cours d'eau au sein de leur bassin versant. Ces objectifs ont alors suscité des études particulières pour combler le manque de connaissances portant sur ces petits ruisseaux, et justifié d'un financement sur le long terme pour un programme de recherche finalisée : la mise en place et le suivi de l'**Observatoire des Rivières** du Parc Naturel Régional Normandie-Maine.

Cette étude s'est déroulée de 1989 à 1999, en trois phases. La première phase (1989-1993) a permis de définir les protocoles d'étude, de les appliquer sur un nombre restreint de rivières par années, et de rééquilibrer les échantillons d'étude. Après les premiers tâtonnements de cette première phase, il est apparu nécessaire de traiter un panel plus important de stations (20 au minimum) et d'analyser ces stations de façon synchrone. C'est donc le programme qui a été envisagé pour les phases 2 (1994) et 3 (1997) de l'Observatoire.

Entre-temps (à partir de 1991), toujours dans cette optique pratique, les partenaires locaux ont souhaité évaluer **l'impact écologique du nettoyage et de la restauration des cours d'eau**, en bénéficiant de l'existence de l'Observatoire et de protocoles qui avaient déjà été mis en oeuvre, mais qu'il a fallu adapter à ce nouvel objectif, en les complétant d'analyses cartographiques et par transects qui se sont avérées assez lourdes.

L'ensemble des opérations a impliqué des scientifiques permanents, mais aussi de nombreux stagiaires qu'il n'est pas possible de tous nommer. Cette multiplicité d'intervenants a certes permis l'acquisition d'un jeu de données tout-à-fait original pour la France, mais aussi a entraîné des biais dans l'acquisition des données mésologiques en renforçant l'« effet-observateur », sachant que toutes les données biologiques ont été acquises par des spécialistes des groupes concernés. Le présent rapport fait donc une synthèse d'une opération lourde de recherche.

Il s'agit donc d'en tirer le maximum d'enseignements :

- quant à la méthodologie d'étude appropriée à un diagnostic d'état, et si possible, de fonctionnement des petits cours d'eau,
- quant aux caractéristiques de l'ensemble des compartiments étudiés, en fonction des différents contextes d'utilisation de l'espace,
- quant à l'état de ces cours d'eau dans un milieu que l'on suppose préservé,
- quant aux éventuelles causes de dégradation des ruisseaux,
pour mettre au point des outils opérationnels de diagnostic rapide des cours d'eau, et établir des bases de comparaison pour des études ultérieures.

La liste des rapports, travaux et présentations orales ou écrites afférentes à l'étude figure en **Annexe 1**.

Ce rapport constitue la partie la plus descriptive et analytique de l'étude. De façon à simplifier la lecture, des résumés du contenu des parties sont présentés sur des feuilles de couleur.

Remerciements

Les auteurs principaux remercient les stagiaires et participants dont les noms figurent sur la première page du document, et tout spécialement les Gardes-Pêche qui ont permis cette étude. Nos remerciements vont aussi à Etienne LAMEUL et à son équipe d'Etudes et Chantiers qui ont rendu possible l'étude du Tilleul.

Leur gratitude va aussi vers les trois Chargés de Mission Environnement du Parc Naturel Régional Normandie-Maine qui ont suscité (Bruno DUMEIGE), accompagné (Yves DUCHATELLE) et finalisé le travail (Michel AMELINE dont la fidélité et la confiance ont été à toute épreuve). Leur travail de montage de dossier a parfois tenu de la prouesse. |

Nous remercions également le Parc Naturel Régional pour l'accueil égal, malgré les turbulences d'un renouvellement de Charte, ainsi que l'ensemble des financeurs qui ont accepté un investissement sur du moyen terme. X

Nous espérons que le partenariat initié dans le cadre de l'Observatoire restera efficace et fructueux dans les nouvelles opérations du Parc concernant ses milieux naturels humides. ✓

Résumé

Dans le cadre de l'Observatoire des Rivières du Parc Naturel Normandie-Maine, l'étude multicompartiments de 21 stations s'est poursuivie de 1989-1993 à 1997 pour décrire les biocénoses, comprendre le fonctionnement naturel et perturbé des ruisseaux et analyser le devenir d'un cours d'eau restauré, le Tilleul. Les deux dernières campagnes (1994 et 1997) sont comparables, car réalisées de façon synchrones, sur des stations de longueur identique.

Les résultats 1997 montrent que :

- des relations peuvent être établies entre qualité de l'eau, débit et usage du bassin versant;
- le colmatage augmente dans beaucoup de stations;
- si on observe une assez grande stabilité des phytocénoses, des disparitions d'espèces de macrophytes semblent traduire une légère dégradation d'ensemble;
- au niveau des invertébrés, les I.B.G.N. baissent dans la majorité des cas par rapport à 1994, notamment sur 3 stations dont la qualité de l'habitat s'altère (colmatage par des spongiaires ou des matières fines);
- pour les poissons, les stations équilibrées montrent des populations abondantes de truites; les stations légèrement altérées et perturbées sont plutôt dans un meilleur état qu'en 1994; les stations dégradées ne montrent pas d'amélioration. Une forte diversité et des impacts de la pollution et des aménagements anciens apparaît, se traduisant par des récupérations variables.

Les analyses multidimensionnelles montrent que la qualité de l'eau, alliée au contexte forestier et à l'usage du bassin versant déterminent effectivement les biocénoses, mais que le colmatage des fonds et la présence d'étangs sont aussi responsables de la dégradation. L'effluent ruisseau étant nettement prédominant sur l'effet faciès, il faudrait multiplier les stations quitte à réduire leur longueur; les macrophytes traduisent mieux la qualité des faciès courants alors que les poissons traduisent bien la dégradation dans les faciès lents.

La restauration du Tilleul s'est traduite par une amélioration assez temporaire du caractère courant des stations, une augmentation de la luminosité, un accroissement des macrophytes, mais une disparition immédiate des grosses truites liée à l'enlèvement des embâcles. Six ans après aménagement, de nouveaux embâcles apparaissent. Des populations de truites se restaurent à l'aval. L'examen détaillé des rejets de la ripisylve montre qu'il est possible de reformer des arbres, mais qu'un entretien minimal est nécessaire au niveau de l'arbre, mais aussi de l'ensemble des berges.

Pour un diagnostic simplifié, il est possible de raccourcir les longueurs d'étude, de n'inventorier que quelques substrats pour les invertébrés benthiques, de travailler sur la structure des communautés végétales et de ne rechercher que quelques espèces indicatrices.

Pour les recommandations pratiques d'aménagement, la clôture des cours d'eau, l'élimination des abreuvoirs, un éclaircissement différencié des faciès, la suppression ou la mise en dérivation des étangs, une gestion régulière de la ripisylve, sont à préconiser.

Au-delà des résultats scientifiques, l'application des indicateurs simplifiés d'état et de fonctionnement à la gestion d'un bassin versant est prévue en relation avec le monde agricole. Une formation aux outils qui sont en cours d'élaboration est donc envisagée pour faire évoluer les pratiques d'inventaire, de diagnostic et de gestion de ces petits cours d'eau.

Mots clés : Ruisseau, Etude multi-compartiments, Qualité d'eau, Habitat, Macrophyte, Invertébré, Poisson, Aménagement.

Summary

As part of the « Observatoire des Rivières du Parc Naturel Normandie Maine », a multicompartimental study has been carried out on 21 stations from 1989-1993 to 1997, in order to describe biocenoses, to understand the natural or perturbed functioning of brooks and to follow the gradual change of a restored river, the Tilleul. The only last two campaigns are really exploitable because achieved on sites of determined length and in a synchronized way.

The results of 1997 point out that :

- relationships between the water quality, the flow of brooks and the use of the watershed can be established;
- the clogging up increases in many stations;
- phytocenoses are quite stable, even if the disappearing of some species of macrophytes reveals a slight damage on the whole;
- for invertebrates, the I.B.G.N. are lower in most of the cases than in 1994, especially on 3 damaged stations (clogging by sponges and thin suspended solids).
- for fishes, balanced stations have abundant populations of trouts, when slightly damaged ones are in a rather better state than in 1994. Damaged sites do not show any improvement.

According to multi-dimensional analysis, the water quality related to the use of the watershed, influences the biocenoses, but the clogging up and the presence of ponds are responsible for the degradation too.

At the level of macrohabitat, the "brook effect" prevailing over the "morphodynamic unit effect", an increase in the number of stations and a reduction of their length is recommended. Macrophytes reveal the quality of the running morphodynamic units, when fishes show the degradation of the slow ones.

The restoration of the Tilleul has led to a temporary increase in the running character of the stations, an improvement of the luminosity, an increase in the amount of macrophytes, but also an immediate disappearing of the big trouts with the removal of the blockages. Six years later, new blockages are appearing, as well as populations of trouts in the downstream river sections. A careful examination of the shoots of the bank trees reveals that it is possible to reconstitute trees, but that a basic maintenance is necessary both at the level of trees and banks.

To establish a simplified diagnosis, it is possible to study shortened sections, to make an inventory of only several substrata for benthic invertebrates, to work on the structure of plant communities and to look for only several indicator species.

The enclosure of the brooks, the removal of the watering places, a varying lighting of the morphodynamic units, the removal or diversion of the ponds, a regular maintenance of the bank trees are recommended for practical management.

Beyond the scientific results, the application of the simplified indicators of state and functioning to the management of a catchment area is planned in connection with the agricultural world. A formation to the tools in development is thus considered, to make practices of inventory, diagnosis and management of those little brooks progress.

Key words : Stream, Multi-compartment study, water quality, habitat, macrophyte, invertebrate, fish, management.

Introduction : améliorer les connaissances pour agir

Compte tenu de leur linéaire, les petits cours d'eau sont un élément important du patrimoine naturel du Parc. Leur position en tête de bassin versant correspond leur confère un rôle majeur dans le maintien ou la dégradation d'une bonne qualité de l'eau.

Ces ruisseaux sont assez mal connus, tant en terme du point de vue descriptif (qu'y trouve-t-on ?) que fonctionnel (quelles sont les relations entre compartiments ? quelles sont les fonctions-clés ? quelle est leur stabilité ?).

Il s'avère donc nécessaire de reprendre le slogan : « connaître pour gérer », en le transposant en mode dynamique : « utiliser les systèmes gérés pour connaître les fonctionnements et dysfonctionnements et faire évoluer les pratiques de gestion ».

- Une problématique spécifique des petits cours d'eau

Les ruisseaux en tête de bassin versant (ordres 1 à 3 sur substrats acides) **jouent un rôle essentiel dans le recrutement des truites** (BAGLINIERE 1979, HAURY *et al.* 1991, MAISSE & BAGLINIERE 1991). Leur linéaire est beaucoup plus élevé que celui des cours d'eau plus importants sur lesquels se concentre la majorité des recherches, si bien que **la connaissance de leurs biocénoses est très restreinte**.

Par ailleurs, ces milieux sont **particulièrement vulnérables aux altérations à la fois de l'habitat physique** (recalibrage, abandon de la gestion de la ripisylve favorisant la création d'embâcles) **et de la qualité de l'eau** (rejets directs, eutrophisation due aux étangs, matières en suspension provenant de l'abreuvement dans le cours d'eau) : se pose alors la question de leur **entretien**, et, dans le cadre d'un Parc Naturel Régional, de leur **gestion patrimoniale**.

- Le cadre de l'étude

Il s'agit donc d'**étudier le fonctionnement des têtes de bassin versant**, en appliquant une **analyse multicompartiments** sur un réseau de stations *a priori* relativement préservées. Celles-ci constituent l'**Observatoire des Rivières du Parc Naturel Régional Normandie-Maine**. Cet Observatoire complète le Réseau Hydrobiologique et Piscicole du Conseil Supérieur de la Pêche où les petits ruisseaux sont sous-échantillonnés par rapport au linéaire qu'ils représentent. Ces stations ont été choisies comme représentatives de la diversité des situations dans le P.N.R., en terme de qualité d'habitat, d'altérations (recalibrage, pollution, étangs) et de contexte forestier ou non.

Le suivi des stations devait permettre de mieux comprendre le fonctionnement des cours d'eau, d'estimer la nature, l'intensité, voire la fréquence des perturbations, d'analyser les différences apparaissant entre les compartiments, de proposer des recommandations en terme d'aménagement, soit pour réduire "à la source" les perturbations, soit pour en limiter, voire compenser les effets.

Par ailleurs, un cours d'eau, le Tilleul, a été restauré (gestion douce de la ripisylve, enlèvement d'embâcles), afin d'enrichir les études de cas sur l'**aménagement-restauration des cours d'eau**, et analyser de façon très fine, notamment par cartographie, les évolutions des habitats, les changements granulométriques ainsi que les modifications des peuplements invertébrés, macrophytiques et pisciaires. C'est notamment suite à cette **opération de gestion douce** que des **propositions précises de gestion du corridor** peuvent être formulées.

- Des questions fondamentales et appliquées

Les questions auxquelles le programme d'étude se doit de répondre sont les suivantes :

- quelles sont les relations entre les différents compartiments des ruisseaux ?

comment apparaissent-elles du point de vue statistique ? que signifient-elles du point de vue fonctionnel ? sont-elles les mêmes et s'expriment-elles de la même façon quelle que soit l'échelle d'étude (ensemble des stations-périodes, ensemble des stations à une période donnée, au sein d'une station, au niveau d'une séquence, à l'échelle du faciès d'écoulement) ?

- quelle est la variabilité de ces relations, et comment « évoluent » les ruisseaux sur une période de plusieurs années (7 à 9 ans selon les cas) ?

y a-t-il une permanence des groupements spécifiques ? quels sont les facteurs déterminant les changements observés ? quelles sont les atteintes recensées ?

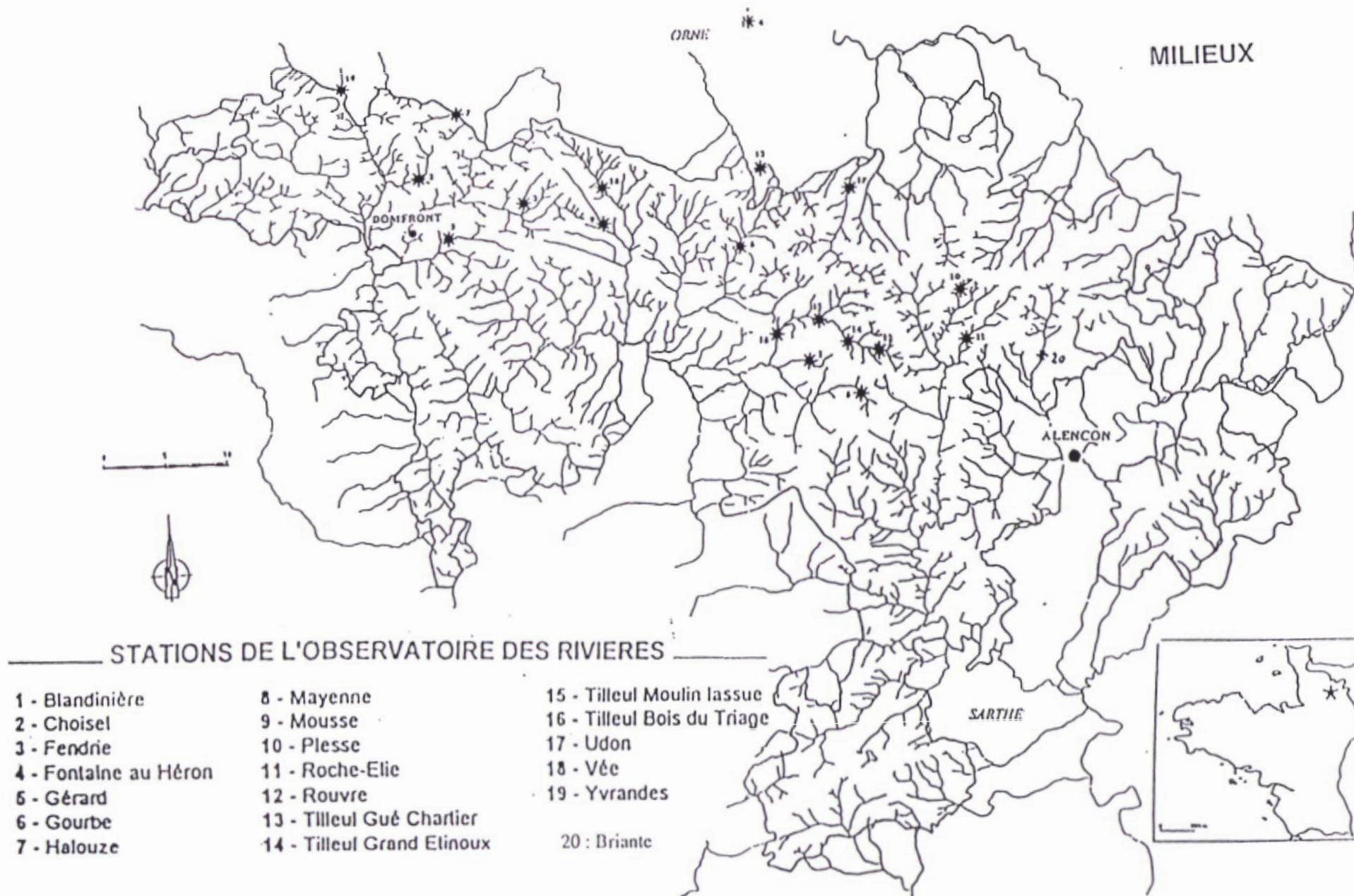
- quelles sont les relations entre les ruisseaux, le corridor fluvial et les bassins versants ?

comment intégrer les flux de nutriments transitant par le cours d'eau ? quelle est la gestion des berges et du corridor fluvial ? comment affecte-t-elle le fonctionnement du cours d'eau ? quelle est la structure et le mode de gestion de l'écotone-berge et comment régule-t-il le fonctionnement du cours d'eau ?

- quels sont les manques en terme de connaissances pour avoir une vision systémique des ruisseaux dans leur bassin versant ?

- au vu des résultats, **quelles recommandations pratiques de gestion** peut-on donner ?

Figure 1 : Localisation des stations de l'Observatoire des Rivières



A - LE CADRE

1 : MILIEUX ET METHODES D'ETUDE

11 - Milieux d'étude

111 - Le Parc Naturel Régional Normandie-Maine et les caractéristiques de ses hydrosystèmes

Situé aux confins de la Basse-Normandie et des Pays de Loire et à l'Est du Massif Armoricaïn, le Parc Naturel Régional Normandie-Maine (P.N.R.N.M.) est particulièrement vaste. Seule la partie Est du Parc est concernée par l'Observatoire (**figure 1**).

- Les stations d'étude

Au total, 23 stations réparties sur 17 ruisseaux du Parc Naturel Régional (P.N.R.) Normandie-Maine ont été étudiées, mais seules 21 d'entre elles, réparties sur 16 cours d'eau ont été conservées (**figure 1**). Ces stations se situent sur les bassins-versants de la Mayenne (15 stations), de la Sarthe (2 stations + 1 abandonnée - milieu calcaire assèchement fréquent) et de l'Orne (4 stations + 1 abandonnée - redondance avec deux stations situées immédiatement en amont).

D'ordre 2 à 3 essentiellement, de largeur comprise entre moins de 2 m et 5 m, elles ont été choisies comme représentatives de la diversité des situations du P.N.R. : contexte forestier, recalibrage, aval de pollutions ponctuelles, influence d'étangs, plus ou moins bonne qualité d'eau, nettoyage-entretien de la ripisylve, réaménagement de seuils..

La liste et les raisons du choix figurent dans le **tableau I**.

Deux niveaux d'études ont été utilisés : le "segment" (station d'étude hétérogène mais représentative du cours d'eau) et le faciès d'écoulement (macrohabitat homogène). Pour des raisons de lourdeur du protocole, les longueurs des stations (segments) ont été réduites en 1994, et conservées en 1997.

Les caractéristiques des stations sont résumées dans le **tableau II**. Les longueurs étudiées à partir de 1994 ont une longueur moyenne de 95 m.

Il en ressort que la majorité des stations sont moyennement à fortement ombragées. Beaucoup d'entre elles ont été ou sont encore perturbées par un recalibrage plus ou moins récent, une altération de la qualité de l'eau, des embâcles, des érosions de berges.

Tableau 1 : Plan d'échantillonnage et raison du choix des stations

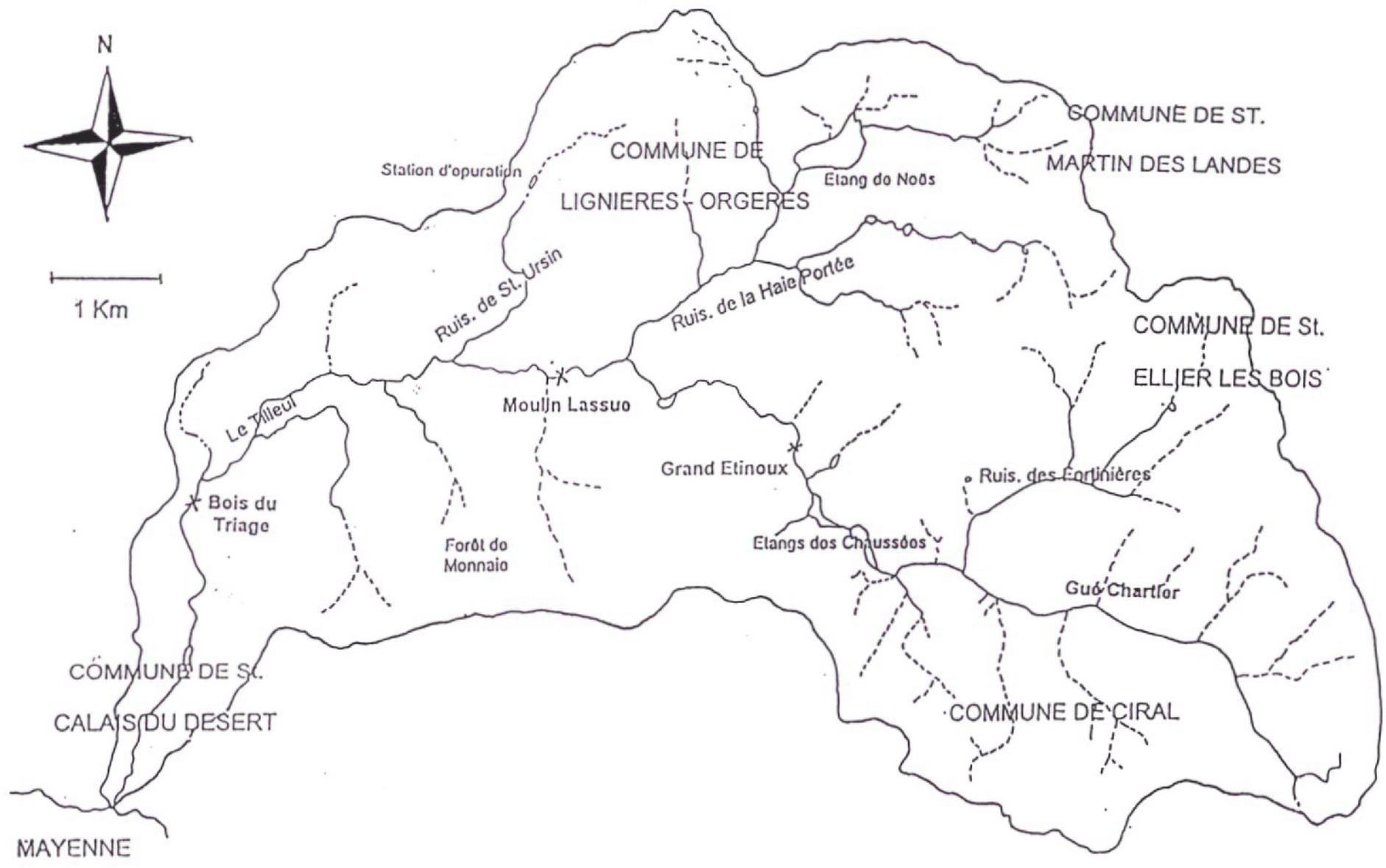
| Stations | Bassin | Années d'étude | | | | | | Critères de choix |
|--------------------------|---------|----------------|------|------|--------------|------|------|-----------------------------------|
| | | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 1993 | 1994 | 1997 | |
| Blandinière | Mayenne | | + | | | + | + | Etangs, habitats diversifiés |
| Briante | Sarthe | | (+) | | (+) | | | Milieu calcaire, impact de Step. |
| Choisel | Mayenne | + | | | | + | + | Légère dégradation |
| Fendrie | Mayenne | + | | | | + | + | Référence forestière |
| Fontaine au Héron | Orne | | | | + | + | + | Référence milieu productif |
| Gérard | Mayenne | + | | | | + | + | Colmaté, dégradé |
| Gourbe | Mayenne | | | + | | + | + | Etangs, habitats diversifiés |
| Halouze | Mayenne | + | | | | + | + | Témoin grand cours d'eau |
| Mayenne | Mayenne | | (+) | | (+) | + | + | Aménagement ancien, boisement |
| Mousse | Mayenne | | | | + | + | + | Forestier oligotrophe |
| Plesse | Sarthe | | + | | | + | + | Recalibrage, macrophytes |
| Roche-Elie | Sarthe | | + | | | + | + | Forestier |
| Rouvre | Orne | | | | + | + | + | Recalibrage |
| Tilleul Gué Chartier | Mayenne | | (+) | + | + | + | - | Recalibrage |
| Tilleul Gd Etinoux amont | Mayenne | | (+) | + | + | + | - | Aménagement, étangs |
| Tilleul Gd Etinoux aval | Mayenne | | (+) | + | + | + | + | Aménagement, étangs |
| Tilleul Moulin Lassue | Mayenne | | (+) | + | + | + | + | Aménagement, étangs |
| Tilleul Bois du Triage | Mayenne | | | | + | + | + | Forestier, aménagement |
| Udon amont | Orne | | | + | | + | - | Recalibrage |
| Udon médian (aval) | Orne | | | + | | + | - | Recalibrage, réaménagement |
| Udon aval (pont) | Orne | | | + | | | | Recalibrage, traitement ripisylve |
| Vée | Mayenne | + | | | | + | - | Recalibrage |
| Yvrandes | Mayenne | | | | + | + | + | Référence milieu productif |

Tableau II : Caractéristiques des stations d'étude retenues pour les phases 2 et 3.

| Paramètres | Longueur | Largeur | Profondeur | Eclaircissement | Froude | Hétérogénéité |
|-----------------------|----------|---------|------------|-----------------|--------|----------------|
| STATIONS | m | m | cm | | moyen* | Nb faciès/100m |
| Blandinière | 100,3 | 1,76 | 20,80 | moyen | 0,44 | 21,93 |
| Choisel | 53,4 | 2,34 | 29,10 | faible | 0,36 | 26,22 |
| Fendrie | 80,8 | 1,29 | 20,60 | moyen | 0,41 | 17,33 |
| Fontaine au Héron | 74 | 2,25 | 27,00 | moyen | 0,25 | 20,27 |
| Gérard | 95,6 | 1,76 | 20,80 | moyen | 0,31 | 18,83 |
| Gourbe | 114,1 | 3,34 | 45,40 | faible | 0,39 | 14,02 |
| Halouze | 84,2 | 3,70 | 51,50 | moyen | 0,09 | 10,69 |
| Mayenne | 126,8 | 1,75 | 28,70 | faible | 0,42 | 22,08 |
| Mousse | 77,7 | 2,67 | 27,00 | faible | 0,35 | 23,17 |
| Plesse | 90,1 | 1,76 | 21,00 | moyen | 0,4 | 15,54 |
| Roche Elie | 94,7 | 2,28 | 30,40 | fort | 0,38 | 16,90 |
| Rouvre | 75,3 | 1,79 | 23,00 | faible | 0,2 | 17,26 |
| T. Bois du Triage | 123,5 | 4,04 | 33,90 | moyen | 0,35 | 19,43 |
| T. Gué Chartier | 134,4 | 2,87 | 33,90 | fort | 0,28 | 13,39 |
| T. Grand Etinoux amon | 67,7 | 3,07 | 34,80 | moyen | 0,39 | 8,80 |
| T. Grand Etinoux aval | 90,9 | 2,49 | 25,30 | faible | 0,21 | 14,77 |
| T. Moulin Lassue | 157,5 | 2,96 | 34,90 | moyen | 0,31 | 16,51 |
| Udon amont | 170,3 | 3,68 | 40,10 | moyen | 0,1 | 10,85 |
| Udon médian (aval) | 110,6 | 3,26 | 45,10 | moyen | 0,21 | 10,57 |
| Vée | 74,4 | 1,76 | 21,80 | moyen | 0,43 | 16,13 |
| Yvrande | 58,1 | 2,13 | 26,30 | fort | 0,38 | 22,38 |

* : Froude moyen : ce chiffre exprime le caractère courant de la station. Plus il est élevé, plus la station est courante.

Figure 2 : Le bassin versant du Tilleul.



112 - Le Tilleul : bassin versant et stations d'étude

- Bassin versant du Tilleul et problèmes spécifiques

L'aménagement des petits cours d'eau, et plus spécialement leur nettoyage-restauration font de plus en plus souvent l'objet de chantiers financés par les collectivités locales. Néanmoins, l'impact réel de ces opérations reste à étudier, car le postulat d'un effet bénéfique sur le fonctionnement de l'hydrosystème n'a jamais été vraiment démontré avec un protocole scientifique rigoureux, du moins sur de petits cours d'eau de plaine. C'est donc l'objet de l'étude menée sur le Tilleul.

Le Tilleul est un petit cours d'eau à truites (**figure 2**), supposé représentatif du Parc, malgré quelques problèmes connus de qualité d'eau. Les problèmes majeurs rencontrés sur le bassin-versant avant les aménagements sont les suivants (GODON 1992) :

- * la station d'épuration de Ciral qui ne fonctionne pas bien,
- * un recalibrage ancien qui a entraîné une forte instabilité des berges de la station du Gué Chartier,
- * une très forte eutrophisation due aux étangs situés à l'amont du Grand Etinoux,
- * un non entretien de la ripisylve des stations Grand Etinoux amont, Grand Etinoux aval, Moulin Lassue, ce qui a entraîné la création d'embâcles dans les stations du Grand Etinoux amont et du Moulin Lassue,
- * des pratiques agricoles d'abreuvement direct dans les ruisseaux (dans toutes les stations), bien que des systèmes de dérivation ou des barrières aient été prévus localement pour limiter la pénétration du bétail dans les cours d'eau.

Il s'est malheureusement avéré, au cours de l'étude, que les répercussions de cette dégradation de la qualité de l'eau étaient particulièrement importantes, déséquilibrant le peuplement pisciaire.

- Stations d'étude du Tilleul et problématiques d'aménagement

Sur ce bassin versant, le cours d'eau, délaissé depuis plusieurs années a donc fait l'objet d'un entretien raisonné. Pour en évaluer l'impact, 4 stations d'étude ont été choisies, en sus d'une station amont, située dans un secteur recalibré.

Au long du linéaire du cours d'eau, les 5 stations sont, d'amont vers l'aval : le Gué Chartier (TGC), le Grand Etinoux (dédoublé en Grand Etinoux amont (GEM) et Grand Etinoux aval (GEV)), le Moulin Lassue (ML) et le Bois du Triage (BT). Les caractéristiques simplifiées de ces stations sont résumées dans le **Tableau III**.

Tableau III : Caractéristiques générales complémentaires des stations d'étude du Tilleul

| STATIONS Caractéristiques générales | Gué Chartier | Grand Etinoux | | Moulin | Bois du |
|--|--------------------|---|----------|----------------------------|------------------|
| | | Amont | Aval | Lassue | Triage |
| Localisation & problèmes | Aval Ciral STEP | Aval étangs eutrophes qualité d'eau et réchauffement | | Aval confl. Haie Portée | Amont du bois |
| Ripisylve | 0 | grands arbres | Taillis | Taillis | Forêt |
| Embâcles avant aménagement | 0 | 3 | 0 | 6-7 | 2 |
| Morphologie & aménagement | Recalibrée | Hétérogène | Homogène | Homogène | Homogène |
| Habitats dominants | Plats | RP/Plats | RD/Plats | RD/RP/PC | PL/RP |

Légende : STEP : station d'épuration

Habitats : PL : plats lents, RP : rapides, RD : radiers, PC : plats courants.

- Les aménagements du Tilleul

Les aménagements sur le Tilleul ont été réalisés en concertation entre l'équipe scientifique et les opérateurs de terrain (équipes techniques d'Etudes et Chantiers). Il s'agissait d'établir un état initial (hélas réalisé de façon trop ponctuelle compte-tenu des délais) et de suivre les impacts d'aménagements connus, tant en terme de nature que d'intensité.

La chronologie des aménagements et des études selon les compartiments est résumée dans le **Tableau IV**.

Tableau IV : Chronologie des opérations et études réalisées sur les compartiments

| Compartiments Chronologie | Chimie | Habitat | Flore | Macrophytes / faciès | Invertébrés | Cartographie | Poissons | Lumière | Ripisylve |
|------------------------------|--------|---------|-------|-------------------------|-------------|--------------|----------|---------|-----------|
| Avant aménagement | | | | | | | | | |
| Juin 1991 | | + | + | | + | | + | + | + |
| Aménagement | | | | | | | | | |
| Juin-Juillet 1991 | | | | | | | | | |
| Juste après aménag. | | | | | | | | | |
| Juillet-Août 1991 | | + | | | | | | + | |
| Octobre 1991 | + | | | | | | | | |
| 1 an après : 1992 | + | + | | + | + | + | + | + | + |
| 2 ans après : 1993 | + | + | | + | + | + | + | | |
| 3 ans après : 1994 | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 6 ans après : 1997 | + | + | + | + | + | + | + | + | + |

Il ressort de ce tableau que de nombreuses études ont été réalisées, avec parfois des impondérables liés à la météorologie, notamment pour les mesures de lumière, des problèmes de débit ou de planification.

Après aménagement, des problèmes nouveaux sont apparus :

- * interventions intempestives des riverains qui ont abattu une partie de la ripisylve conservée (Grand Etinoux amont),
- * pénétration du bétail dans le cours d'eau dégagé (Grand Etinoux amont, Moulin Lassue).

Suite à ces perturbations, une pose de clôture et des échanges avec les riverains ont pu pérenniser le suivi.

12 - Des méthodes d'étude rapportées aux objectifs

La nécessité de rapporter les méthodes d'étude aux échelles d'acquisition de données et aux objectifs précis a impliqué de nombreux essais, et une évolution constante de la méthodologie. Le corpus méthodologique d'étude des petits ruisseaux est désormais un acquis scientifique qui permettra de faire évoluer les programmes nationaux appliqués à ces milieux.

121 - A l'échelle du bassin versant : indicateurs liés à l'usage de l'espace

1211 - Description des bassins versants (COIFFARD 1995)

Pour chaque station d'étude, il a été nécessaire de délimiter le bassin versant amont (sur cartes au 1/25.000 ème de l'Institut Géographique National en fonction de la ligne des crêtes - LLAMAS 1993), et de définir l'usage de l'espace (photo-interprétation sur missions aériennes récentes, mettant en valeur l'usage de l'espace (champs cultivés, prairies permanentes, linéaire de bocage). Par ailleurs, des données d'usage de l'espace, issues du Recensement Général Agricole de 1988 (fiches communales) actualisé par les D.D.A. ont permis d'analyser le degré d'intensification de ces bassins.

1212 - Analyse du corridor fluvial

Lors du déroulement de l'étude, une échelle intermédiaire entre le bassin versant et la station hydrobiologique s'est avérée importante : le corridor fluvial. Celui-ci correspond au « lit majeur » du cours d'eau, et, dans ces petits ruisseaux, il a été défini comme l'ensemble des parcelles adjacentes au cours d'eau, qu'elles soient inondables ou non, mais aussi l'ensemble des parcelles inondables. En effet, l'état d'une station dépend étroitement de ce qui se passe sur le cours d'eau et dans le corridor à son amont immédiat.

Mise au point sur le Bassin-versant du Tilleul (GODON 1992) et suite aux propositions de HAURY & BOSSARD (1992), l'analyse du corridor a été réalisée sur une longueur de 500 à 1000 m environ à l'amont des stations hydrobiologiques.

Les paramètres suivants ont été pris en compte : recalibrage, occupation des zones de contact, continuité ou non de la ripisylve, existence de rejets, présence d'abreuvoirs, de gués.

122 - A l'échelle de la station hydrobiologique : des méthodologies désormais confirmées

Les méthodes d'études multi-compartiments des stations hydrobiologiques ont fait l'objet de nombreuses publications anciennes, et sont désormais bien connues en général. Toutefois, elles ont dû être adaptées, d'une part, à la problématique spécifique des petits ruisseaux, et, d'autre part, au concept d'observatoire, qui implique un suivi et un inventaire comparatif et patrimonial des stations.

- Délimitation des stations et identification des faciès

La première étape de l'étude correspond à l'identification des faciès d'écoulement et à leur délimitation. Celles-ci ont été réalisées en s'inspirant de la typologie de MALAVOI (1989), à l'instar des travaux menés sur le Ruisseau de la Roche (Manche : HAURY *et al.* 1995), en distinguant les radiers, les rapides, les plats courants, les plats lents et les profonds. Les faciès de moins de 1 m de longueur ont été agrégés au faciès amont ou aval correspondant au type le plus proche. Des types d'habitats intermédiaires ont été définis (demi-radiers, demi-profonds par surverse, cascade).

La liste des variables, mais aussi des types de stations et leurs codes utilisés dans les analyses sont résumés dans le **Tableau V**.

- Descriptions mésologiques

Une partie des paramètres ont été estimés ou mesurés à l'échelle de la station : la pente, le nombre de faciès d'écoulement par 100 mètres linéaires, le boisement des berges, l'utilisation de l'espace adjacent, ...

- La pente (%) a été mesurée en 1994 à l'échelle de la station au moyen d'une mire et d'un théodolite,
- Le nombre de faciès d'écoulement par 100 m linéaires est déterminé après validation collective du découpage retenu par trois observateurs expérimentés (A.R., J.H., S.C.).
- Les longueurs boisées de berges sont notées par estimation sur chaque berge,
- Les hauteurs de berge sont mesurées au décimètre, au niveau de faciès représentatifs.
- Les abreuvoirs sont dénombrés comme des indices d'anthropisation et sources de dégradation potentielle.
- A l'inverse, le nombre de cascades traduit une possibilité de réoxygénation des eaux.

Les autres paramètres mésologiques ont été estimés en pourcentage de la surface à l'échelle du faciès d'écoulement lors d'une même période hydrologique par un même

observateur. A partir de ces données, une agrégation (par pondération des surfaces des faciès) permet d'obtenir des valeurs à l'échelle de la station d'étude (segment). Ces paramètres complémentaires sont : l'éclairement, la largeur, la profondeur, le % de zone marginale, le % d'émersion dans le lit mineur, les types d'écoulement définis par OMBREDANE *et al.* (1995), les classes granulométriques, le colmatage, les recouvrements des différents types biologiques végétaux et du substrat nu; les caches offertes (par les sous-berges, les macrophytes, les débris végétaux, les blocs et rochers), les pourcentages d'abris.

- Physico-chimie de l'eau et hydrologie

L'étude de la qualité de l'eau était initialement prévue avec une seule campagne d'analyses coïncidant avec l'étude des autres compartiments (phase 1). Il s'est avéré très rapidement utile d'augmenter le nombre des campagnes pour mieux caractériser les stations :

Sept campagnes d'analyse d'eau, échelonnées d'avril 1993 à mars 1995, ont été réalisées sur l'ensemble des cours d'eau pour la phase 2. Afin de diagnostiquer au mieux la qualité physico-chimique de chacun des cours d'eau, les prélèvements ont eu lieu aux différentes saisons : avril 93, juin 93, octobre 93, janvier 94, mai 94, septembre 94 et mars 95.

En 1997, pour la phase 3, six campagnes d'analyses couplées à des mesures de débit (méthode des trapèzes au courantomètre électromagnétique sur transects identiques d'une campagne à l'autre) ont été effectuées (BIANNIC 1997, DUBY 1997). Les corrélations binaires entre le débit et les variables physico-chimiques (conductivité, concentrations en NO₃, NO₂, NH₄, PO₄) ont été testées par paires pour chaque ruisseau.

Les paramètres généralement utilisés pour définir la qualité de l'eau ont été mesurés.

- Le pH (pHmètre pH95-set1 de WTW), la température et la conductivité (conductimètre de WTW) ont été mesurés *in situ* au moment des prélèvements.
- Les orthophosphates, les formes minérales de l'azote (nitrates, nitrites et ammonium) et le fer ont été mesurés par spectrophotométrie (kits d'analyse spectroquant de Merck).
- Pour une campagne, en 1994, le sodium, le potassium, le magnésium et le calcium ont été mesurés au laboratoire par absorption atomique à la flamme.

- Végétation du lit et des berges : relevés floristiques

Dans chaque secteur, on a distingué différentes unités : le lit, les zones supra-aquatiques en rive droite et gauche, les berges droites et gauches, le total des zones aquatiques et supra-aquatiques. Lorsque des différences notables des conditions de boisement des berges et/ou d'écoulement l'ont justifié, des sous-secteurs ont été différenciés lors de la phase 1. Ultérieurement, compte-tenu de la réduction de longueur des stations, ces différenciations ont été abandonnées. Les relevés concernent les bryophytes et les plantes vasculaires, ainsi (à partir de 1990) que les algues macrophytes. En 1994, une approche phytosociologique a été intégrée à ces relevés. Cette approche phytosociologique s'étant avérée délicate en raison de l'importance des groupements fragmentaires et mal caractérisés a été abandonnée en 1997.

Les pourcentages de recouvrement de l'ensemble des espèces macrophytiques (genres d'algues filamenteuses, espèces de bryophytes et de spermatophytes) présentes dans chacune

des sous-unités ont été estimés lors d'une première campagne de printemps (Juin-Juillet). A l'étiage, en Septembre-Octobre, une vérification de la végétation présente dans le lit mineur est effectuée.

Tableau V : Codages utilisés pour les variables écologiques, les types de faciès et les stations d'étude.

MACROPHYTES

| | |
|------|---------------------------------------|
| ALGV | : Algues vertes |
| CYAN | : Cyanophycées |
| HIRI | : <i>Hildembrandia rivularis</i> |
| LEMA | : <i>Lemanea sp</i> |
| MELO | : <i>Melosira sp</i> |
| SPIR | : <i>Spirogyra sp</i> |
| ULOT | : <i>Ulothrix sp</i> |
| VAUC | : <i>Vaucheria sp</i> |
| CHIP | : <i>Chiloscyphus polyanthus</i> |
| FISP | : <i>Fissidens pusillus</i> |
| FONA | : <i>Fontinalis antipyretica</i> |
| FONS | : <i>Fontinalis squamosa</i> |
| HYGF | : <i>Hygroamblystegium fluviatile</i> |
| LEPR | : <i>Leptodictyum riparium</i> |
| OXYR | : <i>Oxyrrhynchium rusciforme</i> |
| PORP | : <i>Porella pinnata</i> |
| RICS | : <i>Riccardia sinuata</i> |
| SCAU | : <i>Scapania undulata</i> |
| CALH | : <i>Callitriche hamulata</i> |
| CALO | : <i>Callitriche obtusangula</i> |
| CALY | : <i>Callitriche platycarpa</i> |
| CALS | : <i>Callitriche stagnalis</i> |
| CALT | : <i>Callitriche truncata</i> |
| ELOC | : <i>Elodea canadensis</i> |
| LEMM | : <i>Lemna minor</i> |
| PTCR | : <i>Potamogeton crispus</i> |
| RANA | : <i>Ranunculus peltatus</i> |
| RANP | : <i>Ranunculus penicillatus</i> |
| MYOS | : <i>Myosotis scorpioides</i> |
| HELN | : <i>Helosciadium nodiflorum</i> |
| AGRS | : <i>Agrostis stolonifera</i> |
| GLYF | : <i>Glyceria fluitans</i> |
| PLGH | : <i>Polygonum hydropiper</i> |
| IRIP | : <i>Iris pseudacorus</i> |
| PHAA | : <i>Phalaris arundinacea</i> |

VARIABLES MESOLOGIQUES

| | |
|-------|--|
| LARG | : largeur |
| PRFD | : profondeur maximale |
| VCMX | : vitesse de courant maximale |
| PEST | : pente |
| FECL | : nombre de faciès d'écoulement/100m |
| TURB | : % d'écoulement turbulent |
| FRIS | : % d'écoulement de type friselis |
| LISS | : % d'écoulement lisse |
| CRT2 | : % de courant en retour |
| RADV | : % de racines et débris végétaux |
| ARLI | : % d'argiles et limons |
| SABL | : % de sable |
| GRAV | : % de gravier |
| GALE | : % de galets |
| BLOC | : % de blocs |
| COLM | : % de colmatage |
| ECLA | : éclaircissement |
| ALGU | : % d'algues |
| BRYO | : % de bryophytes |
| HYDR | : % d'hydrophytes |
| HELO | : % d'hélophytes |
| SUNU | : % de sol nu |
| PLBO | : % de plantes bordurières |
| TXBO | : taux de boisement |
| ABRV | : abreuvoirs |
| CASC | : cascades |
| KSBE | : % de caches sous berges |
| KROC | : % de caches sous roches |
| KRDV | : % de caches sous rac. et déb. végét. |
| KVBO | : % de caches sous végét. bordurière |
| KMAC | : % de caches sous macrophytes |
| ETAN | : étangs |
| RECAL | : recalibrage |
| SUBV | : surface de bassin versant |
| TYBV | : type de bassin versant |

POISSONS

| | |
|------|----------------------------------|
| DTRF | : densité de truites fario |
| DCHA | : densité de chabots |
| DLOF | : densité de loches franches |
| DVAI | : densité de vairons |
| DLPP | : densité de lamproies de Planer |
| DANG | : densité d'anguilles |
| DGOU | : densité de goujons |
| DCHE | : densité de chevesnes |
| DVAN | : densité de vandoises |
| DABH | : densité de ables de Heckel |
| DCCO | : densité de carpes communes |
| DGAR | : densité de gardons |
| DROT | : densité de rotengles |
| DTAN | : densité de tanches |
| DEPT | : densité d'épinochettes |
| DPER | : densité de perches |
| DBRO | : densité de brochets |

PHYSICO-CHIMIE

| | |
|-----|----------------|
| PO4 | : phosphates |
| NH4 | : ammonium |
| NO2 | : nitrites |
| NO3 | : nitrates |
| CON | : conductivité |

Tableau V : Codages utilisés pour les variables écologiques, les types de faciès et les stations d'étude (suite).

Liste des codes pour les faciès d'écoulement et les ruisseaux

[type de faciès] [ruisseau] [n° (2 chiffres)]

TYPOLOGIE DES FACIÈS D'ÉCOULEMENT

(codage pour les faciès / codage général)

| | |
|-------------------------------|-------------------|
| Demi profond : P DP | Radier rapide : E |
| Demi profond par surverse : S | Radier : I RD |
| Plat lent : L PL | Rapide : R RP |
| Plat courant : C PC | Demi radier : D |
| Plat : T | Cascade : K |
| Profond : O PR ou P | |

RUISSEAUX

(codage pour les faciès / codage général)

| | |
|------------------------------------|-----------------|
| Blandinière : B | BLA / BL |
| Choisel : C | CHO / CH |
| Roche Elie : I | ROC / RE |
| Tilleul au Gué Chartier : Q | TCG / GC |
| Tilleul au Moulin Lassue : W | TML / ML |
| Tilleul au Grand Etinoux amont : X | TGEM / GEM (GM) |
| Tilleul au Grand Etinoux aval : Z | TGEV / GEV (GV) |
| Udon médian : E | UDE (UDV) / UE |
| Udon amont : U | UDM / UM |
| Mayenne : M | MAY / MY |
| Halouze : H | HAL / HL |
| Plesse : P | PLE / PL (P) |
| Gérard : G | GER / GD |
| Gourbe : O | GOU / GO |
| Rouvre : R | ROU / RO |
| Tilleul au Bois du Triage : T | TBT / BT |
| Mousse : S | MOU / MO |
| Fendrie : F | FEN / FE |
| Fontaine au héron : N | FON / FH |
| Vée : V | VEE / VE |
| Yvrandes : Y | YVR / YV |

- Inventaires des communautés pisciaires

Les densités et biomasses de poissons sont obtenues par pêche électrique, avec deux passages, en distinguant, lors du premier passage, les effectifs et biomasses par faciès d'écoulement. Le second passage est réalisé sans distinction des faciès. Une attention particulière envers les "petites espèces" a permis d'obtenir une assez bonne efficacité dès le premier passage, hormis pour l'anguille (*Anguilla anguilla*) et la lamproie de Planer (*Lampetra planeri*). Les estimations de densité et de biomasse ont été réalisées par la méthode de CARLE et STRUB à l'échelle de la station.

1214 - A l'échelle du faciès : un « grain hydrodynamique » intéressant pour l'acquisition de données détaillées.

Le postulat justifiant cette étude est que le faciès constitue le "grain hydrodynamique" déterminant à la fois les biocénoses et l'interrelation entre le milieu physique du lit et l'hydrodynamique.

Les hypothèses majeures qui sous-tendent ce travail sont donc :

- 1 - même en petits ruisseaux, le faciès correspond à un niveau fonctionnel pertinent permettant d'analyser le déterminisme des biocénoses, et par conséquent les mécanismes de leur altération éventuelle,
- 2 - il est possible d'établir des peuplements-types par faciès d'écoulement, ce qui conduit à une biotypologie des faciès d'écoulement,
- 3 - une inférence du faciès vers la séquence est alors possible.

- Milieu physique et végétalisation

L'éclairement est estimé en 5 niveaux (de très ombragé à très éclairé).

La largeur en eau (m) est mesurée pour chaque faciès d'écoulement le long d'un transect représentatif,

La profondeur (m) est évaluée pour chaque faciès d'écoulement par des mesures le long du transect (avec un minimum de 10 points),

Les vitesses de courant est mesurée au micro-moulinet OTT pour les deux premières phases, courantomètre électromagnétique FLO-MATE pour la troisième).

Le type d'écoulement de surface est estimée en % de représentation dans le faciès d'écoulement : % *turbulent*, % *friselis*, % *lisse*, % *courant en retour*.

Les pourcentages de représentation de la granulométrie correspondent à la typologie suivante : % *racines et débris végétaux*, % *argiles et limons* ($\varnothing < 0.02$ mm), % *sables* ($0.02 < \varnothing < 2$ mm), % *graviers* ($2 < \varnothing < 20$ mm), % *galets* ($20 < \varnothing < 200$ mm), % *blocs* ($\varnothing > 200$ mm).

Le pourcentage de colmatage correspond au pourcentage de substrat (classes granulométriques précitées) recouvert par une pellicule de limons,

Le recouvrement par les macrophytes traduit la végétalisation selon les types biologiques et les grands groupes taxonomiques : % *algues*, % *bryophytes*, % *hydrophytes*, %

hélophytes, % plantes ripicoles, % surface nue. Ces paramètres ont été déterminés lors de la description mésologique.

En 1997, deux améliorations du protocole initial ont été apportées pour chaque faciès d'écoulement :

- mesure du Nombre de Froude sur chaque faciès étudié,

En effet, la définition même des faciès d'écoulement est problématique en petits ruisseaux, si bien qu'il est désormais nécessaire de trouver un cadre statistique permettant d'étayer ou de rejeter les affectations visuelles à des types de faciès (DELACOSTE *et al.* 1995). Parmi les paramètres hydrologiques pertinents, l'état de surface (OMBREDANE *et al.* 1995), mais aussi et surtout le Nombre de Froude (GARCIA 1992, LAMOUREUX 1995) trop délaissés par les hydrobiologistes ont donc été considérés.

- mesure au luxmètre de l'éclairement sur chaque faciès

L'échelle initialement retenue en 5 classes devait être complétée par des mesures, pour limiter l'effet observateur. Une mesure au luxmètre par faciès d'écoulement, quantifiant cette échelle a été réalisée en Juillet et Août 1997, à l'instar des travaux déjà anciens de HAURY (1985).

- Macrophytes

Dans chaque faciès d'écoulement, lors de l'étiage et avant les pêches électriques, les macrophytes présents dans le lit apparent sont inventoriés, avec estimation des recouvrements. Ces inventaires ont permis de vérifier et de compléter, en tant que de besoin, les listes floristiques établies à l'échelle de la station en fin de printemps-début été. Il y a donc un double passage, comme préconisé au niveau national (HAURY *et al.* 1997a et b, et 1998)

- Invertébrés benthiques

Le protocole appliqué est celui des indices biologiques globaux normalisés (AFNOR T 90-350). En complément de la liste faunistique, les individus sont dénombrés pour chaque taxon (DALIGAULT 1993 a-d, 1995, en cours).

En 1997, pour la troisième phase, les prélèvements d'invertébrés benthiques ont été réalisés systématiquement après le repérage de terrain et la délimitation-caractérisation des faciès d'écoulement. Deux types de substrats ont été systématiquement recherchés pour affiner les comparaisons entre les stations : les racines d'aulnes situées dans des zones de courant, et les sables si possible non colmatés.

- Poissons

Les pêches sont réalisées suffisamment lentement, avec une équipe expérimentée identique pour un même secteur, avec un observateur sur les berges indiquant les limites de faciès. Les poissons récoltés sont disposés dans des seaux différents et traités individuellement pour les truites et les gros poissons, et par lots (si possible par classes de

taille) pour les espèces d'accompagnement (utilisation du logiciel AMA du C.S.P. - BAGLINIERE non daté). Les biomasses sont obtenues sur les mêmes lots.

Pour l'analyse des relations peuplement pisciaire-faciès d'écoulement, en raison des risques d'échappement (poissons choqués qui dérivent), et des réactions de fuite (jusqu'à 11 % de poissons peuvent changer de faciès d'écoulement dans les petits ruisseaux - ROUSSEL 1998), seuls les résultats du premier passage sont pris en compte.

1235 - A l'échelle d'un suivi d'aménagement : des protocoles très lourds.

Méthodologie et hypothèses fonctionnelles

Le choix méthodologique pour le suivi de l'aménagement du Tilleul correspond à analyser le maximum de compartiments, et à traduire les résultats sous une forme cartographique. Ces protocoles particulièrement lourds étaient en adéquation avec le caractère exploratoire de l'étude, et reposait sur les hypothèses fonctionnelles suivantes (élaborées après consultation de la bibliographie et discussion avec divers experts) :

- tous les compartiments peuvent être affectés

* lumière : augmentation de la lumière arrivant au niveau du lit

* qualité de l'eau : moindre stagnation, meilleure oxygénation, moins d'ammonium en raison d'un moindre sotckage de sédiments enrichis en matières organiques,

* hydrologie : augmentation du caractère courant, diminution de l'importance relative des profonds,

* granulométrie : décolmatage des fonds, restauration d'une granulométrie grossière,

* macrophytes : augmentation des recouvrements macrophytiques, apparition éventuelle d'espèces héliophiles, colonisation possible des substrats décolmatés,

* invertébrés : augmentation de la faune rhéophile et oxyphile, réduction de la faune stagnophile,

* poissons : restauration possible de la reproduction de la truite, réduction de l'effectif de gros individus et de la faune lénitophile.

* berges : possibilité de reprise d'érosion, dans les endroits dégagés

* arbres de la ripisylve : en fonction de l'intensité d'entretien, possibilité de disparition d'espèces ligneuses dans les secteurs témoins, réduction de la strate arbustive basse, instauration d'une « dynamique de l'arbre » différente selon les espèces et les traitements.

- la dimension spatiale des aménagements liée notamment à la localisation des embâcles impose une représentation cartographique,

- ce sont essentiellement les arbres des berges qui sont affectés par les aménagements, ce qui impose de suivre plus particulièrement l'évolution de la ripisylve dans son ensemble et de « souches représentatives » en particulier.

- Cartographies

La partie la plus onéreuse en temps concerne la cartographie thématique. Trois types de cartes ont été réalisées (**figures 3**) : la carte des profondeurs, la carte de la couverture végétale (ripisylve et macrophytes) et de la transmission lumineuse, la carte de la granulométrie des fonds et des vitesses de courant.

Chacune de ces cartes est réalisée en fonction de parcours sur la berge et dans l'eau. Les fonds de cartes utilisés sont ceux qui ont été établis lors de la première étude, à partir des documents cadastraux. Certaines délimitations d'unités homogènes (granulométrie, projection verticale de la ripisylve, touffes de macrophytes) sont réalisées *in situ*. Des mesures ponctuelles sont réalisées selon le maillage préexistant pour les vitesses de courant, les profondeurs et la transmission lumineuse; pour la profondeur, une intégration spatiale sous forme d'isobathes est réalisée à partir des données ponctuelles.

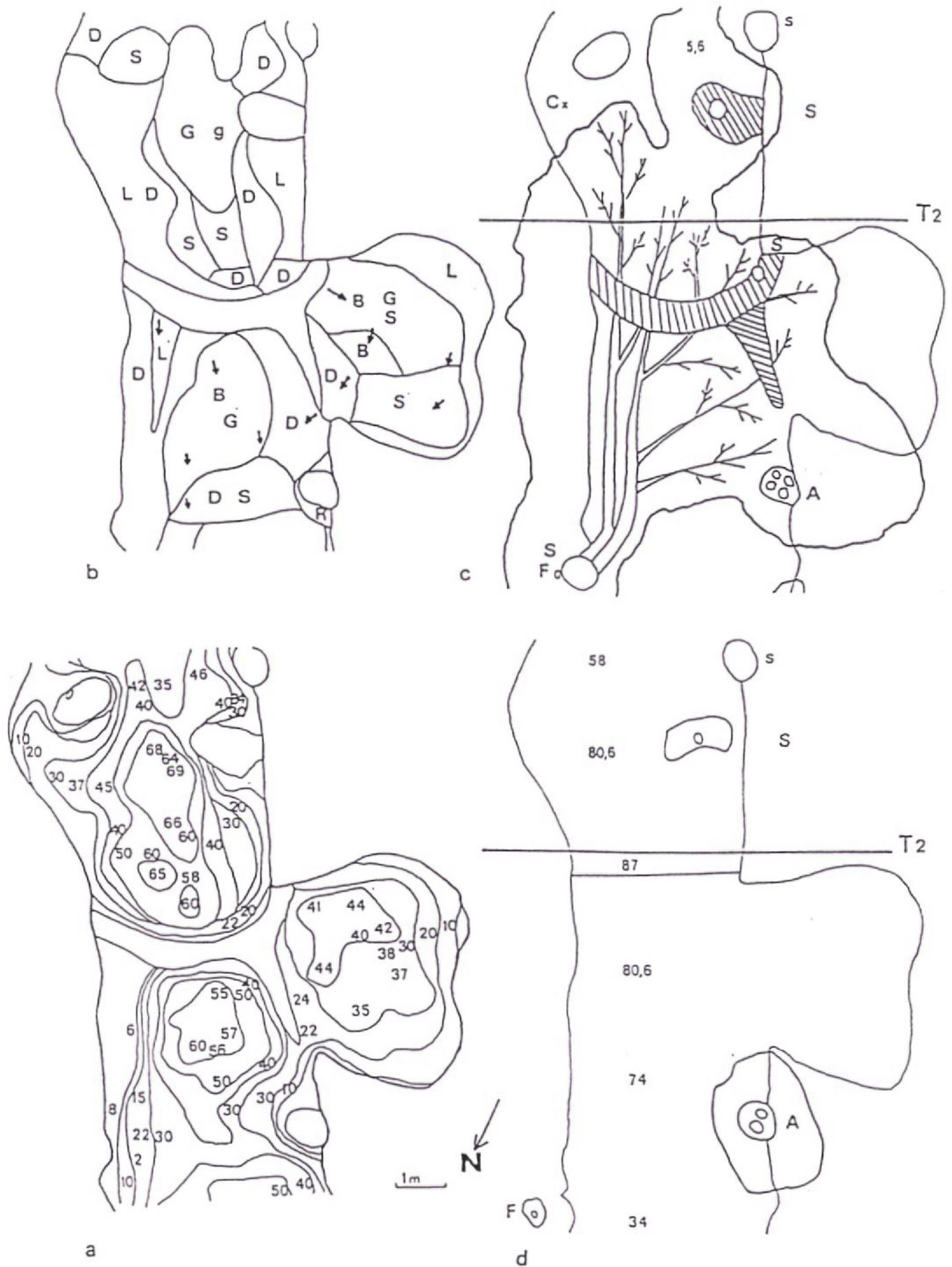
Les exemples développés sur les figures 3 (extraites de HAURY 1992) montrent l'effet d'une embâcle sur la profondeur (a), sur la granulométrie et l'écoulement (b), cette embâcle étant créée par un vieux saule tombé en travers du cours, ce qui entraîne une forte couverture par la ripisylve et des taux de transmission lumineuse sous couvert très faibles. Après travaux (enlèvement de l'embâcle, taille de la ripisylve), la couverture végétale est très faible, et, bien entendu, la transmission lumineuse très élevée.

- Méthode des transects.

Des transects (lignes transversales de rive à rive) ont été réalisés dans des endroits particuliers (par exemple le transect 2 sur les figures 3), de façon à vérifier les résultats des cartes granulométriques, suivre l'évolution des substrats, des profondeurs et des vitesses de courant en obtenant des données plus précises. Un développement original, initié par GARCIA (1992) a permis de calculer un paramètre hydraulique, le Nombre de Froude (modifié), qui rend compte du caractère courant des stations et des habitats; il permet à la fois de suivre l'impact des aménagements (GARCIA 1992a, HORNIER 1993), et de classer les types d'habitats (BREHIER 1995), BIANNIC (1997).

- Floristique générale et macrophytes par faciès d'écoulement.

De façon détaillée, un inventaire des macrophytes par faciès d'écoulement (délimités dans le cadre général de l'étude) a été réalisé, en estimant les recouvrements spécifiques, comme pour les autres stations de l'Observatoire des rivières. Cette opération, réalisée chaque année a permis de suivre l'impact de l'ouverture de la canopée et du dégagement des substrats du lit sur la recolonisation végétale.



Figures 3 : Cartographies thématiques pour le suivi de l'aménagement du Tilleul (HAURY 1992).

a) Carte des profondeurs avant aménagement

—— Limites du lit

—— Lignes d'égaux profondeurs.

Effet de l'embâcle : augmentation de la profondeur à l'amont.

b) Carte de la granulométrie des fonds avant aménagement

Les lettres correspondent aux substrats apparents suivants : R : racines; D : débris végétaux; L : limons et vases; S : sables; g : graviers; G : galets.

Les flèches indiquent les vitesses de courant.

Effet de l'embâcle : une sédimentation à l'amont de limons et un dépôt de débris végétaux. L'abreuvoir creusé en dérivation est enclos. Il est alimenté par la surverse due à l'embâcle.

c) Carte de l'éclairement et de la végétation avant aménagement

—— Limites du lit.

||||||| Zone émergée

—— Limites de l'ombre portée par les arbres

Les figurés de branches correspondent à une couverture à moins d'un mètre de l'eau.

Les chiffres sont les pourcentages de transmission lumineuse.

s : Souche

T₂ : Numéro de transect

Végétation :

x C Callitriches (plantes aquatiques).

Arbres : A : Aulne; F : Frêne; S : Saule.

La couverture du lit par les arbres est presque totale, ce qui donne un très faible pourcentage de transmission lumineuse. Les callitriches ne poussent qu'avec un minimum de lumière.

d) Carte de l'éclairement et de la végétation après aménagement.

(Voir légende de la carte c).

L'élagage des arbres se traduit par une très forte augmentation de l'éclairement. Ultérieurement, une recolonisation par des algues et des callitriches a été observée.

Figures 3 : Cartographies thématiques pour le suivi de l'aménagement du Tilleul (HAURY 1992) (Légendes)

Numéro d'identification: ALM04

Rive : RG

Essence: aulne

Position sur berge : PB

REJETS

| Inclinaison i, e, d, c, ca | État | φ (cm) |
|-------------------------------|------|-----------|
| i | v | 28 |
| i | v | 11 |
| d | v | 18 |
| d | v | 24 |
| d | v | 25 |
| d | v | 18 |
| d | v | 23 |
| e | v | 13 |
| e | v | 32 |
| e | v | 14 |
| e | v | 12 |
| d | v | 29 |
| <u>Nouveaux bris</u> | | |
| 43xd | v | <1 |
| <u>Bris supprimés</u> | | |
| i | v | 12 |
| i | v | 5 |
| i | v | 9 |
| i | v | 15 |

$R_e(04/92) = 0$

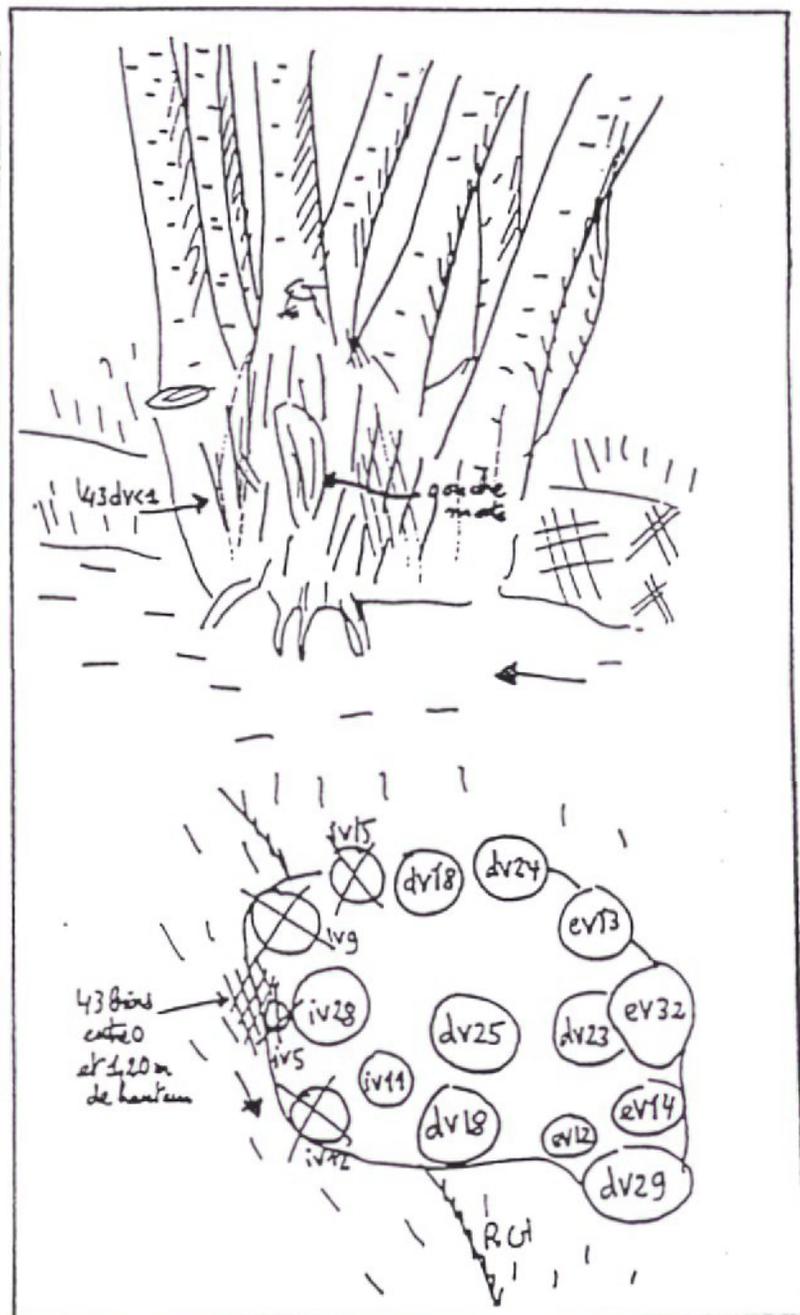


Figure 4 : Exemple de description de souche (GARCIA 1992b).

Outre la cartographie qui permet de dénombrer les individus et d'envisager les répartitions des différentes espèces, une étude détaillée de certaines souches, avec dénombrement des brins et cartographie grossière (THEVENIN 1991), puis une cartographie détaillée (GARCIA 1992) a été reprise en 1994 par LIEGEY (1994), puis en 1997 par BONO (1998). Un exemple (**Figure 4**), tiré des travaux de GARCIA (1992) met en évidence la manière dont l'élagage des souches a été analysé.

Conclusion : objectifs et intérêts du croisement des méthodes d'approche

Le croisement des approches permet de montrer les différentes réponses des éléments, mais aussi de mettre en lien l'évolution de chaque compartiment, en essayant d'envisager le fonctionnement de l'ensemble. Par ailleurs, des recommandations pratiques au vu des évolutions constatées sont souhaitées par les gestionnaires et praticiens, ce qui impose de mettre en évidence les possibilités et limites d'une transposition de cette étude de cas.

13 - Traitement des données

131 - Analyse simple des compartiments et métriques de l'environnement

L'examen simple des données et les comparaisons avec la bibliographie permettent l'établissement d'un premier diagnostic d'état.

Pour le milieu physique,

ce sont les indications visuelles de dysfonctionnement, comme les érosions de berge, les abreuvoirs, le colmatage des fonds, la présence d'embâcle ou le recouvrement total de portions du lit qui seront les témoins de perturbation.

Pour la physico-chimie,

la comparaison aux normes des Agences de l'eau ainsi qu'aux valeurs attendues dans des têtes de bassin versant en situation relativement peu intensive qui donneront autant d'indications.

Pour les macrophytes,

le diagnostic est réalisé en deux temps :

- un examen de la liste floristique permet d'avoir une idée de la qualité de l'eau, de l'intérêt patrimonial des phytocénoses, et de comparer les phytocénoses observées avec les groupements végétaux décrits dans des types de milieux similaires, notamment par HAURY (1982 à 1998)

- le calcul d'indices macrophytiques a été réalisé à partir des indices d'ELLENBERG (1978) puis ELLENBERG *et al.* (1991), de HARDING (1978 et 1981 *in* STANDING COMMITTEE OF ANALYSTS H.M.S.O. 1986), et de NEWBOLD & HOLMES (1987), indices comparés et commentés par HAURY & PELTRE (1993), puis à partir des propositions du Groupement d'Intérêt Scientifique (GIS) « Macrophytes des eaux continentales » (HAURY *et al.* 1996). Ce sont ces dernières propositions qui seront seules commentées, dans l'hypothèse de mettre au point un outil opérationnel d'estimation de la qualité des cours d'eau avec les macrophytes, dans des petits cours d'eau et de discuter les éventuelles limites « amont » de ces indices. Ces propositions seront donc discutées en fonction de la richesse précifrique.

A l'échelle du faciès d'écoulement, des profils écologiques ont été élaborés, afin de préciser l'écologie des principaux macrophytes telle qu'elle peut être établie sur des milieux « homogènes » du point de vue hydrodynamique.

Pour les invertébrés benthiques,

le protocole normalisé I.B.G.N. conduit à un inventaire sans dénombrement. Toutefois ce dernier a été réalisé, de façon à obtenir des données quantitatives.

Outre la note finale, le nombre de taxons, le numéro du groupe indicateur de qualité maximale seront précisés.

Par ailleurs, divers indices ont pu être appliqués : le Cb2, les différents indices de diversité.

Enfin, une attention particulière a été portée dans l'analyse de la diversité aux régimes alimentaires et à la rhéophilie des taxons, à partir de la synthèse de TACHET *et al.* (1980). Les toutes récentes propositions de RICHARD et BIDAL (non datées et non publiées) n'ont pas encore pu être testées.

Pour les poissons,

comme pour les macrophytes, deux approches complémentaires ont été réalisées, au moins pour certaines phases :

- l'examen du peuplement pisciaire, en s'interrogeant notamment sur les poissons « normaux » compte-tenu du niveau typologique correspondant au type de cours d'eau,
- le calcul d'un « indice truite » (RICHARD 1992 *in* HAURY & RICHARD 1993 - **Annexe 2**) sensé traduire l'état du peuplement de truites.

A l'échelle du faciès d'écoulement, des profils écologiques ont été élaborés.

132 - Analyses multidimensionnelles

Les traitements de données ont été assez complexes, en raison à la fois de la forte hétérogénéité des variables prises en compte, des échelles d'étude (station/faciès), et des périodes différentes.

Les **objectifs poursuivis** dans le traitement des données ont été les suivants :

- **l'établissement de typologies des secteurs**, au vu des groupes de variables, pour chaque compartiment.

Pour analyser les données à l'échelle de la station, pour un même compartiment, et à une période donnée, ce sont toutes les variables du groupe qui ont été considérées, puis une sélection d'entre elles. En général, sauf cas particulier, les Analyses en Composantes Principales (A.C.P.), éventuellement suivies de Classifications Ascendantes Hiérarchiques (C.A.H. - ROUX 1991) sur les coordonnées factorielles de l'A.C.P.. La phase 2 a plus particulièrement été traitée, notamment pour les macrophytes, le milieu physique et les poissons, avec une analyse séparée des compartiments et servira de référence pour l'ensemble de l'interprétation. La phase 3 est traitée de la même manière.

Dans l'analyse des compartiments écologiques, il s'agit alors de déterminer quelles sont les tendances ressortant du jeu de données : facteurs écologiques prépondérants, indications de bon fonctionnement et de « bonne qualité » ou au contraire de dysfonctionnement. Les Analyses en Composantes Principales permettant d'analyser un tableau de données quantitatives (BENZECRI 1973) sont alors la méthode de statistique descriptive la plus appropriée.

- **pour l'établissement de relations intercompartiments**, sans supposer de relations causales entre ces compartiments, le choix s'est porté sur l'Analyse Factorielle Multiple (ESCOFIER & PAGES 1988, PAGES *et al.* 1991)

- **pour mettre en évidence l'évolution des relations sur plusieurs périodes pour un même compartiment**, c'est toujours l'A.F.M. qui est utilisée., mais aussi la méthode de comparaisons multitableaux « STATIS » de SPAD3 (CISIA 1997) a été retenue, en complément avec l'A.F.M..

- **le croisement des compartiments et périodes** est essentiellement analysé par l'A.F.M.

Ces méthodes permettent d'analyser les **structures statistiques** de chaque compartiment, de mettre en évidence les **facteurs communs**, et d'identifier les **paramètres majeurs de structuration des données**.

Après ces phases de statistiques exploratoires, une **tentative de recherche explicative** a été réalisée en utilisant des **analyses canoniques des correspondances** (A.C.C.) réalisées avec le logiciel CANOCO (TER BRAAK 1986) avec une sélection pas-à-pas des variables environnementales (procédure de forward selection de CANOCO), à l'échelle du faciès d'écoulement.

B - LES BASSINS VERSANTS

2 - BASSINS VERSANTS

Les caractéristiques de ces bassins versants ne sont présentées que pour les stations retenues sur les 3 phases des rivières : la Briante est donc exclue de l'analyse.

21 - Caractéristiques physiques des bassins versants (Annexe 3)

211 - Importance des bassins

La superficie moyenne des bassins versants à l'amont des stations hydrobiologiques est de 16,87 km², les extrêmes étant la Fendrie (5,44 km²) et le Tilleul au Bois du Triage (49,27 km²).

Trois ensembles de bassins amont des stations sont distincts au vu de seuils simples :

- 8 petits bassins (surface du bassin < 10 km²) : la Blandinière, le Choisel, la Fendrie, le Gérard, la Mayenne, la Mousse, la Rouvre et l'Yvrande,
- 7 bassins versants « moyens » (10 < surface du bassin < 25 km²) : la Fontaine au Héron, la Gourbe, la Plesse, le Roche Elie, le Tilleul au Gué Chartier et au Grand Etinoux, la Vée,
- 4 « grands » bassins (surface du bassin > 25 km²) (par ordre de grandeur croissante) : l'Udon, le Tilleul au Moulin Lassue, la Halouze, puis le Tilleul au Bois du Triage.

Cette taille de bassin est supérieure à celle généralement utilisée par les Pédologues (bassins versants élémentaires et tous petits bassins versants « expérimentaux »); elle correspond assez bien à une spécialisation du Laboratoire d'Ecologie aquatique (Ruisseaux du Scorff : Kernec - 7 km² - HAURY 1994 ou Kerlégan - 20 km² - ROUSSEL & BARDONNET 1997) (: et les études habituelles en Hydrobiologie, correspondant à des cours d'eau souvent beaucoup plus importants (par exemple l'Elorn - 290 km², le Scorff - 470 km², et même l'Oir - 87 km²)

212 - Morphologie des bassins

Les variables morphométriques des bassins déterminent les caractéristiques hydrologiques.

Le coefficient de compacité (Kc), dépend du périmètre du bassin versant et de sa surface. Il détermine le temps de réponse dans la relation pluie-pic de crue, est assez variable pour ces petits bassins (moyenne 1,39, écart-type 0,16).

- la Vée, la Mayenne, la Fontaine au Héron, et l'Yvrande sont les bassins les plus compacts (Kc entre 1,21 et 1,22) : ils auront donc un temps de réponse très rapide en cas de pluie;
- à l'inverse, la Mousse, l'Udon et le Gérard ont des coefficients de compacité respectivement de 1,98, 1,61 et 1,57,
- tous les autres bassins ont des coefficients de compacité « moyens » (1,30 < Kc < 1,48).

Deux caractéristiques de pente sont à considérer :

- la **pente des versants** détermine les vitesses de transfert sur les pentes, donc le ruissellement ou l'érosion (pour des caractéristiques pédologiques et d'usage de l'espace comparables); elle est en moyenne de 15,3 ‰ pour un écart-type de 7,7 ‰. Elle est la plus élevée pour la Mayenne (30,4 ‰) et atteint ou dépasse 20 ‰ pour l'Yvrande, la Fendrie et la Plesse. Elle est minimale sur le Moulin Lasse (8,4 ‰), en restant inférieure à 10 ‰ sur toutes les stations du Tilleul, ainsi que sur la Halouze.
- la **pente longitudinale du ruisseau** est en moyenne de 14,3 ‰ pour un écart-type de 0,8. Elle est la plus élevée pour la Mayenne (35 ‰), et est importante pour l'Yvrande (30 ‰), et la Fontaine au Héron (20,5 ‰). Elle est minimale pour le Bois du Triage (6 ‰), et reste inférieure ou égale à 10 ‰ pour le Tilleul, la Halouze, la Mousse, la Rouvre et l'Udon.

Un examen des relations entre ces deux pentes calculées à l'échelle du bassin versant met en évidence la particularité de l'Yvrande et de la Mayenne, mais aussi l'existence potentielle de 3 groupes de ruisseaux du point de vue fonctionnement hydrologique :

- deux bassins à fortes pentes : l'Yvrande et la Mayenne,
- 8 bassins à pentes intermédiaires : la Blandinière, le Choisel, la Fendrie, la Fontaine au Héron, le Gérard, la Plesse, le Roche Elie, la Vée,
- 6 bassins correspondant à 9 sites et 11 stations avec des faibles pentes : la Halouze, la Gourbe, la Mousse, la Rouvre, l'Udon et l'ensemble des stations du Tilleul.

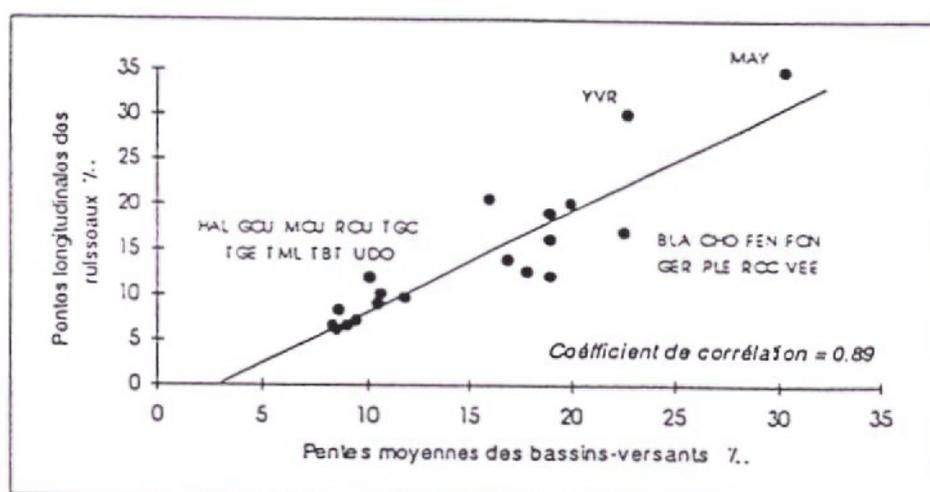


Figure 5 : Graphe de corrélation entre les pentes moyennes des bassins versants et les pentes longitudinales des ruisseaux.

L'histogramme de fréquence des pentes permet de jauger de l'homogénéité du relief. L'Yvrande et la Fendrie se distinguent par une forte hétérogénéité du relief de leur bassin, avec une représentation « équilibrée » des différentes classes de pente. A l'inverse, le Gué Chartier et le Grand Etinoux ont un relief à la fois homogène et peu pentu.

Enfin, le coefficient de sinuosité hydraulique (rapport entre la longueur en vol d'oiseau et la longueur de l'axe du cours d'eau, mesurée sur cartes au 1/25 000 ème) est en moyenne de 0,77. A l'échelle de l'ensemble des cours d'eau, les cours d'eau qui apparaissent comme les plus sinueux sont l'Udon (0,59) et la Rouvre (0,61) et les moins sinueux la Mousse (0,93) et la Plesse (0,92).

Au vu de l'ensemble de ces données, les potentialités hydrauliques sont très variables. Toutefois, des aménagements divers comme des recalibrages peuvent modifier ces potentialités. Au vu de ces caractéristiques, il ne semble pas y avoir de relations immédiates et obligatoires entre ces aménagements et les caractéristiques (compacité, pentes, sinuosité).

22 - Caractéristiques géologiques (Annexe 3)

Les substrats géologiques dominants sur l'ensemble du jeu de données sont, par ordre d'importance décroissante :

- les granodiorites cadomiennes (36,3 %) qui sont des roches plutoniques, roches assez peu érodables, et acides,
- l'ensemble des roches métamorphiques (cornéennes et schistes tachetés : 19,4 %),
- du grès armoricain (8,2 %),
- des alluvions récentes (7,5 %).

Globalement, hormis les formations superficielles quaternaires, ces roches sont relativement acides, et assez peu érodables.

23 - Caractéristiques d'occupation de l'espace des bassins versants (Annexe 3)

231 - Résultats généraux : types d'occupation de l'espace

Globalement, ces bassins versants sont très peu urbanisés (1,6 % de leur surface en moyenne).

Les zones diverses (plans d'eau, terrains à bâtir, espaces verts, chemins de fer et surface non cadastrée) représentent une proportion qui peut être importante (6,6 % pour la Vée, 5,9 % pour le Gérard), 3,4 % en moyenne.

Les surfaces boisées sont très variables : 24 % en moyenne, avec un maximum pour la Mousse (89 %) et un minimum pour le Gué Chartier (1 %).

Au niveau de la Surface Agricole Utile (71 % en moyenne), le pourcentage de terres labourées est en moyenne de 24 %, avec un maximum de 46 % sur la Rouvre, et un minimum sur la Mousse (2 %), et le pourcentage de surface toujours en herbe moyen de 47 %, avec un maximum sur la Fontaine au Héron de 69 %, et un minimum de 8 % sur la Mousse.

Trois grands types de bassins peuvent alors être distingués :

- trois bassins versants « forestiers » : la Mousse, la Fendrie et le Roche Elie, avec des surfaces boisées couvrant plus des 2/3 du bassin, le Roche Elie étant néanmoins un peu plus agricole,
- 2 bassins « mixtes », avec une surface boisée voisine de 40 % de la surface : la Mayenne et la Plesse
- 14 sites correspondant à 11 bassins qui peuvent être qualifiés d'agricoles, avec des surfaces agricoles comprises entre 73% et 94 % de la surface et donc des surfaces boisées en général très inférieures à 20 %, hormis pour la Blandinière (23 %) et l'Udon (18 %).

Toutefois, dans les bassins versants agricoles, les surfaces toujours en herbe prédominent largement, hormis pour le bassin de la Rouvre (46 % de terres labourables et 43 % de surfaces toujours en herbe).

232 - Haies

La densité moyenne de haies (à l'exclusion de celles qui sont associées au réseau routier) est de 55 m/ha de surface agricole (avec un écart-type de 21). Mais cette moyenne cache de fortes disparités comme en témoigne l'écart-type.

Dans les bassins versants non forestiers, les densités de haies varient entre 31 m/ha (Rouvre), et 92 m/ha (Fontaine au Héron). Toutefois, la palme revient à la Fendrie, où, dans la surface agricole, on trouve une densité de 106 m/ha.

Une nette corrélation entre le ratio surface toujours en herbe/ surface agricole et la densité de haies apparaît nettement dans les bassins versants agricoles (figure 6).

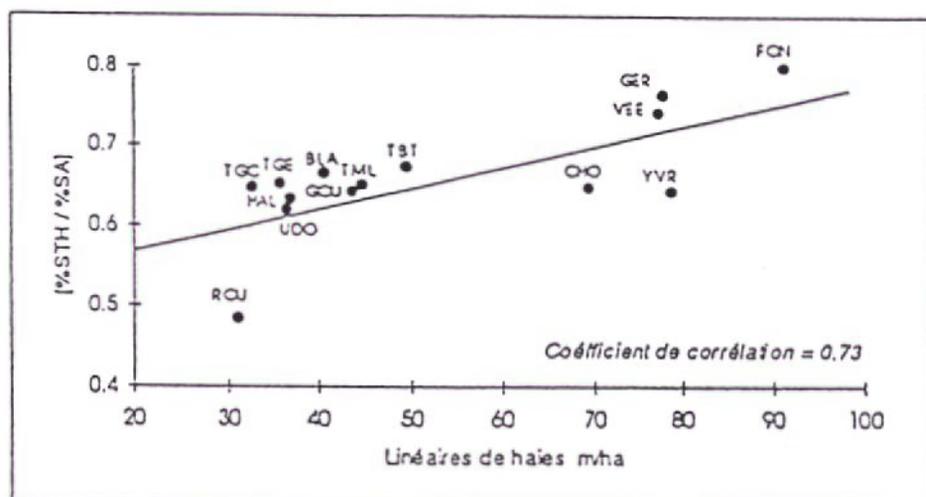


Figure 6 : Graphe de corrélation entre les rapports [%STH / % / %SA] et les linéaires de haies.

On peut alors dissocier les 14 sites « agricoles » en 3 sous-types :

- le type « bocage » avec une densité de haies de l'ordre de 80 m/ha (69-92) et surtout un ratio [%STH/% / %SA] de l'ordre de 0,7 (0,64-0,80) : le Choisel, la Fontaine au Héron, le Gérard, la Vée et l'Yvrandes,
- le type « bocage à maille large » avec une densité de haies de l'ordre de 40 m/ha (36-50), et un ratio [%STH/% / %SA] de l'ordre de 0,6 (0,62-0,68) : la Blandinière, la Gourbe, la Halouze, tous les sites du Tilleul et l'Udon,
- le type « bocage à maille large intensifié » où le linéaire de haie est le plus faible : 31 m/ha, et le ratio [%STH/% / %SA] minimal : 0,48, correspondant à la Rouvre.

233 - Zones au contact des cours d'eau (Annexe 3)

Une attention particulière a été accordée aux zones en bordure des cours d'eau (sur une largeur moyenne de 125 m et sur le seul cours principal), ces zones étant les plus susceptibles de protéger le cours d'eau. La Halouze n'a pas pu faire l'objet de cette analyse.

Les zones au contact des cours d'eau ont été classées en terres labourables, surface toujours en herbe et surface boisée.

Pour les bassins versants forestiers, ce sont bien sûr les forêts qui sont les plus fréquentes en bordure de cours d'eau. Elles sont co-dominantes avec les surfaces toujours en herbe pour les bassins versants mixtes.

Parmi les bassins versants agricoles, la Vée présente une très grande dominance des surfaces toujours en herbe (96 %) en bordure des cours d'eau, et, de façon générale, ce sont les surfaces toujours en herbe qui dominent très largement au contact des cours d'eau. Toutefois, deux cas particuliers sont à signaler : le fort pourcentage de surfaces boisées en bordure de la Gourbe (40 %) et de terres labourables (26 %) pour la Rouvre.

En terme de risques au niveau du bassin versant liés à l'usage des terres, le faible linéaire des haies de la Rouvre, l'intensification et le fort pourcentage des cultures au contact direct du cours d'eau semblent problématiques.

C - LES RESULTATS HYDROBIOLOGIQUES DES STATIONS DE L'OBSERVATOIRE

Les deux dernières phases d'étude correspondant sensiblement aux mêmes unités d'échantillonnage et aux mêmes protocoles correspondent aux résultats « centraux » de l'étude. Elles permettent une « répétition » des inventaires à 3 années d'intervalle, et mettent en évidence d'éventuelles modifications d'état ou de fonctionnement des ruisseaux.

Elles permettent une « répétition » des inventaires à 3 années d'intervalle, et mettent en évidence d'éventuelles modifications d'état ou de fonctionnement des ruisseaux.

Aussi les deux phases sont-elles présentées séparément. L'analyse de l'ensemble des données, incluant aussi la phase 1 confortera l'étude de la dynamique des systèmes. Les données analysées en étude comparative des trois phases figurent en annexe 4.

3 - RESULTATS DE LA PHASE 2

31 - Etat des compartiments

Il s'agit de porter un diagnostic sur chacun des compartiments, au vu des données brutes, et en utilisant les indices existants.

311 - Physico-chimie des eaux

Les valeurs moyennes et les écart-types des variables physico-chimiques étudiées lors des 7 campagnes de la phase 2 sont résumées dans le **tableau VI**.

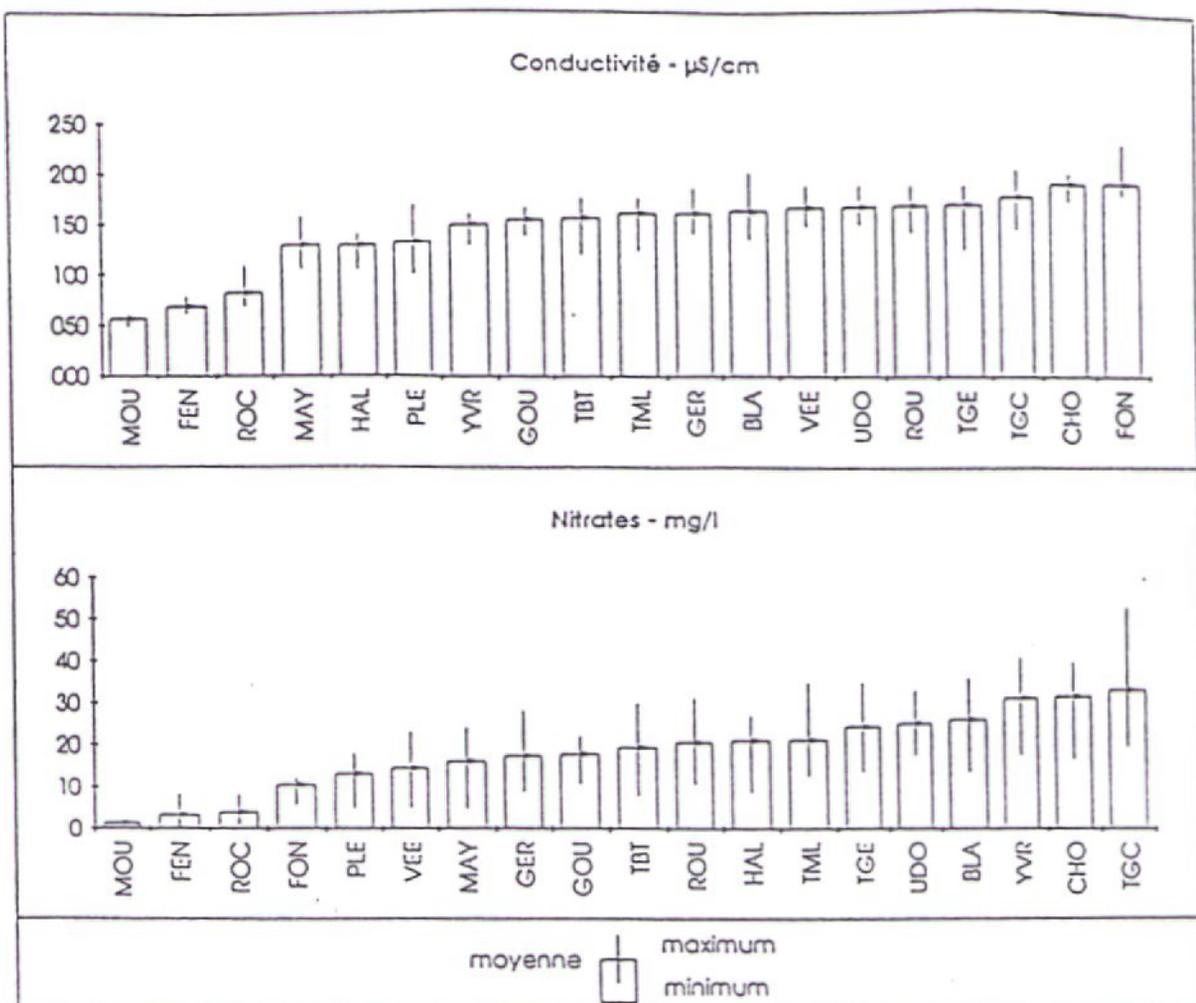
La situation de ces ruisseaux en tête de bassin versant dans le Massif armoricain correspond à des eaux acides ($5,3 < \text{pH} < 7,1$). De fortes disparités de minéralisation existent entre la Mousse ($57 \mu\text{S/cm}$) ou la Fendrie ($69 \mu\text{S/cm}$) et la Fontaine au Héron ($192 \mu\text{S/cm}$), le Choisel ($191 \mu\text{S/cm}$), le Gué Chartier ($178 \mu\text{S/cm}$) ou l'Udon ($167 \mu\text{S/cm}$). La Plesse a les plus fortes charges en orthophosphates ($0,07 \text{ mg/l}$), à l'opposé de la Mousse et de la Fendrie ($0,01 \text{ mg/l}$). Les charges en nitrates sont les plus faibles dans les stations forestières ($< 5 \text{ mg/l}$) et maximales sur le Gué Chartier, le Choisel et l'Yvrandes ($>30 \text{ mg/l}$), ce qui est alarmant du point de vue de la qualité de l'eau. Les teneurs en ammonium sont minimales sur la Fendrie (inférieures aux limites analytiques) et maximales sur le Choisel ($0,12 \text{ mg/l}$).

L'ordination des stations par ordre de valeurs croissantes pour la conductivité et les teneurs en nitrates fait bien ressortir la particularité des trois stations forestières (**figures 7**).

Par ailleurs, il y a une nette corrélation entre les teneurs en nitrates et les pourcentages de surface agricole dans les bassins versants: la **figure 8** corrobore la typologie précédente.

Tableau VI : Caractéristiques générales des eaux lors de la phase 2.

| Paramètres | Conductivité µS/cm | PH | PO4 mg/l | NO3 mg/l | NO2 mg/l | NH4 mg/l | Na mg/l | Ca mg/l | K mg/l | Mg mg/l | Fe mg/l |
|-------------------|-----------------------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|-----------|------------|------------|
| STATIONS | | | | | | | | | | | |
| BLANDINIÈRE | 164,43 | 6,43 | 0,02 | 26,29 | 0,06 | 0,01 | 13,50 | 12,40 | 1,06 | 17,00 | 0,23 |
| CHOISEL | 191,43 | 6,46 | 0,04 | 31,86 | 0,09 | 0,12 | 15,50 | 13,60 | 1,26 | 18,90 | 0,36 |
| FENDRIE | 68,61 | 6,43 | 0,01 | 3,36 | 0,05 | 0,00 | 10,50 | 4,00 | 0,54 | 3,28 | 0,55 |
| FONTAINE AU HERON | 192,14 | 6,54 | 0,03 | 10,57 | 0,06 | 0,03 | 18,60 | 18,40 | 0,90 | 12,20 | 0,45 |
| GERARD | 161,26 | 6,41 | 0,06 | 17,57 | 0,10 | 0,09 | 14,60 | 12,10 | 1,32 | 13,80 | 0,61 |
| GOURBE | 154,57 | 6,39 | 0,03 | 18,00 | 0,07 | 0,07 | 14,30 | 14,10 | 0,83 | 11,10 | 0,60 |
| HALOUZE | 129,86 | 6,43 | 0,02 | 21,29 | 0,07 | 0,04 | 12,40 | 9,33 | 0,82 | 10,10 | 0,43 |
| MAYENNE | 129,70 | 6,50 | 0,03 | 16,29 | 0,07 | 0,07 | 10,90 | 10,70 | 2,19 | 11,60 | 0,36 |
| MOUSSE | 56,59 | 6,10 | 0,01 | 1,29 | 0,01 | 0,01 | 2,01 | 4,86 | 1,56 | 2,60 | 0,47 |
| PLESSE | 132,50 | 6,48 | 0,07 | 13,14 | 0,06 | 0,08 | 11,10 | 11,70 | 1,66 | 8,90 | 0,26 |
| ROCHE ELIE | 82,66 | 6,63 | 0,02 | 4,00 | 0,05 | 0,01 | 10,70 | 8,08 | 0,75 | 3,80 | 0,37 |
| ROUVRE | 169,46 | 6,55 | 0,02 | 20,71 | 0,08 | 0,09 | 13,70 | 14,80 | 0,97 | 15,60 | 0,44 |
| T. BOIS DU TRIAGE | 156,04 | 6,49 | 0,04 | 19,57 | 0,09 | 0,04 | 12,20 | 14,60 | 1,06 | 20,30 | 0,36 |
| T. GUE CHARTIER | 178,13 | 6,35 | 0,04 | 33,43 | 0,09 | 0,08 | 14,40 | 15,70 | 1,07 | 27,00 | 0,43 |
| T. GRAND ETINOUX | 170,29 | 6,35 | 0,02 | 24,57 | 0,08 | 0,05 | 13,40 | 15,10 | 1,12 | 21,90 | 0,39 |
| T. MOULIN LASSUE | 160,89 | 6,44 | 0,02 | 21,43 | 0,09 | 0,03 | 13,90 | 14,50 | 1,29 | 20,20 | 0,42 |
| UDON | 167,94 | 6,51 | 0,05 | 25,29 | 0,08 | 0,05 | 13,20 | 13,80 | 0,94 | 15,20 | 0,48 |
| VEE | 167,80 | 6,40 | 0,02 | 14,71 | 0,06 | 0,03 | 13,20 | 13,60 | 0,93 | 11,60 | 0,41 |
| YVRANDE | 149,57 | 6,40 | 0,04 | 31,43 | 0,05 | 0,06 | 12,80 | 9,84 | 0,88 | 15,90 | 0,24 |



Figures 7 : Ordination des stations selon les valeurs croissantes de la conductivité et des teneurs en nitrates sur la phase 2 (7 campagnes).

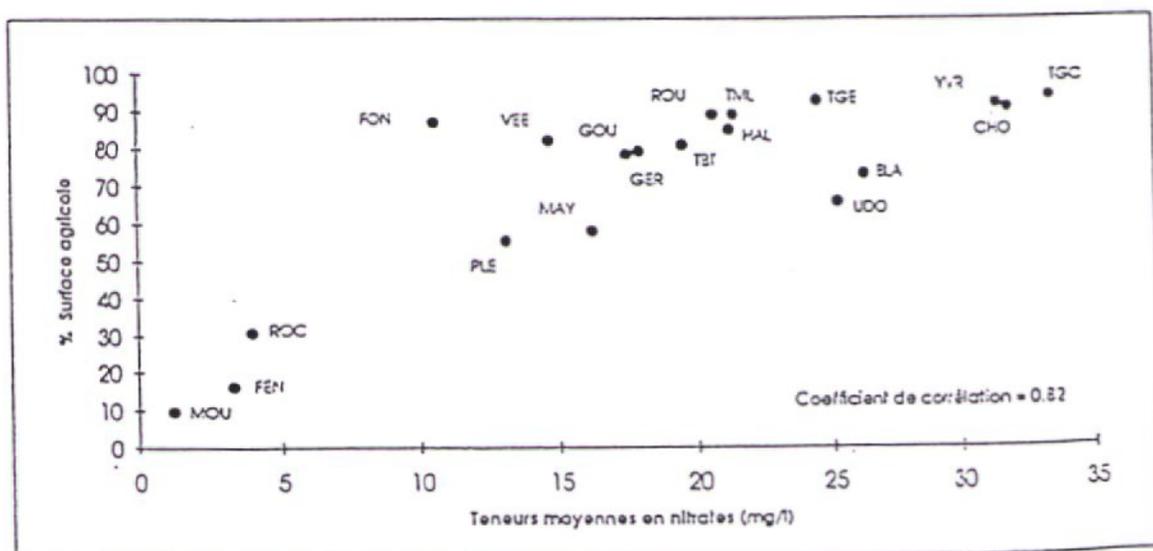


Figure 8 : Graphe de corrélation entre les teneurs moyennes en nitrates et les pourcentages de surface agricole par bassin versant

312 - Milieu physique

Les données du milieu physique de la phase 2 sont résumées dans l'annexe 4.

Les stations de la phase 2 ont donc été raccourcies à 95 m de longueur moyenne contre 161 m lors de la phase 1. La largeur moyenne est de 2,7 m.

Sur l'ensemble des cours d'eau, la proportion de faciès lenticques (profonds 5,2 %, demi-profonds 21,8 % et plats lents 20,9 % : 48%) est quasiment similaire à celle des faciès lotiques (plats courants 25,5 %, radiers 17,9 % et rapides 8,5 % : 52 %).

Ces proportions sont plus équilibrées que dans l'échantillon de la phase 1, où les faciès lents représentaient 57 % de l'échantillon.

Il existe une relation inverse entre la taille des cours d'eau et le nombre d'habitats par 100 m de cours d'eau (Figure 9). Il n'apparaît toutefois pas de différences nettes pour les secteurs recalibrés comme la Plesse, le Gué Chartier, l'Udon. En revanche, une relation positive entre la pente de la station et le nombre de faciès d'écoulement par 100 m linéaires apparaît dans les matrices de corrélations des A.C.P.

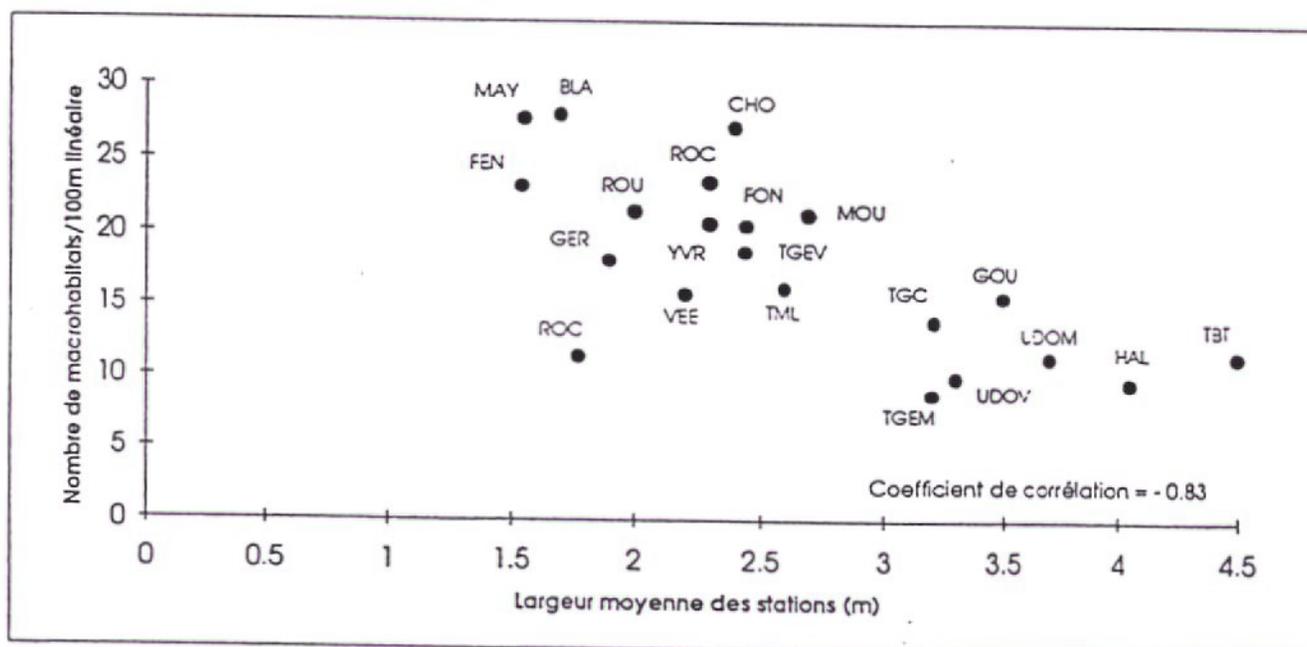


Figure 9 : Graphe de corrélation entre la largeur moyenne du cours d'eau et le nombre de faciès d'écoulement par 100 m linéaires.

313 - Macrophytes (et végétation ripicole)

3131 - Caractéristiques générales

Le tableau VII présente la liste des taxons répertoriés dans le lit sur l'ensemble des stations de l'Observatoire. Les phytocénoses des zones supra-aquatiques et des berges ne sont pas prises en compte dans les analyses.

La richesse spécifique des zones aquatiques et supra-aquatiques est illustrée dans la figure 10.

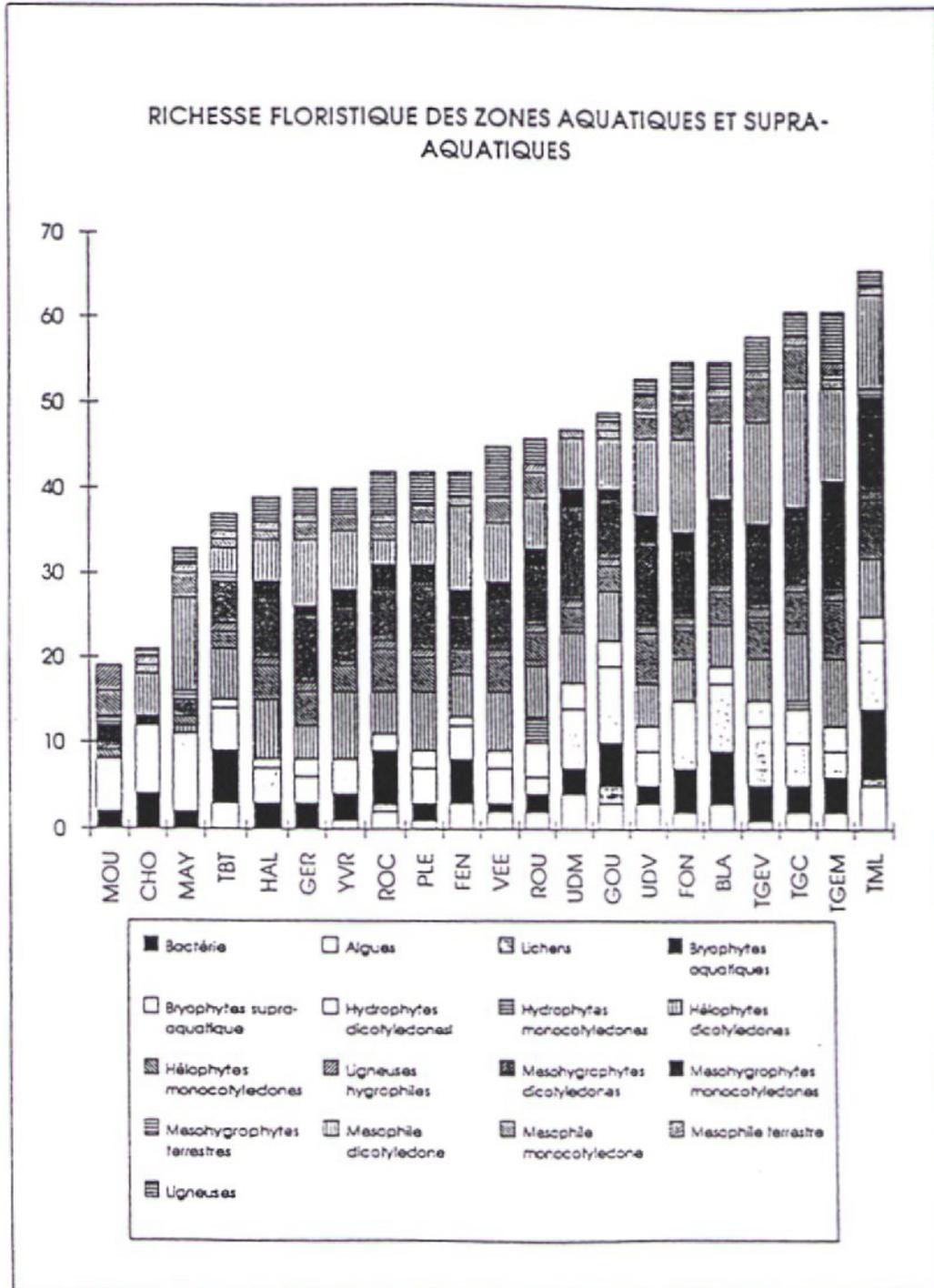


Figure 10 : Richesse floristique des zones aquatiques et supra-aquatiques.

Tableau VII : Macrophytes principaux des stations (pris en compte dans les analyses).

AL : algues; HP : hépatiques; BY : bryophytes; H : hydrophytes; HE : héliophytes (HAURY 1992)

| TAXONS | BLA | CHO | FEN | FON | GER | GOU | HAL | MAY | MOU | PLE | ROC | ROU | TBT | TGC | TGM | TGV | TML | UDM | UDV | VEE | YVR | |
|-------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|
| Algues vertes | | | + | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cyanophycées | | | + | + | | + | | | | + | + | + | + | | + | | + | + | + | | | |
| <i>Hilodendron rivularis</i> | | | | + | | + | | | | | | | + | | | + | | | | | | |
| <i>Lemanea</i> sp. | | | + | | | | | | | | | | + | | | | + | | | | | + |
| <i>Melosira</i> sp. | + | | | | | | | | | | | | | + | | | | + | + | + | | |
| <i>Spirogyra</i> sp. | | | | | | | | | | | | | | | | | + | + | | | | |
| <i>Ulothrix</i> sp. | | | | | | | | | | | | | | | | | + | | | | | |
| <i>Vaucheria</i> sp. | + | | | | | + | | | | | | | | + | + | | + | | + | + | | |
| <i>Chiloscyphus polyanthus</i> | + | + | + | + | | + | | + | | | + | | + | | | + | + | + | | | | + |
| <i>Porolla pinnata</i> | | | | | | + | | | | | | + | | | | | + | | | | | |
| <i>Riccardia sinuata</i> | | | | + | | | | | | | + | | | | | | | | | | | |
| <i>Scapania undulata</i> | | | + | | | | | | + | | + | | | | | | | | | | | + |
| <i>Fissidens pusillus</i> | + | | | | | + | | | | | | | + | | | | + | | | | | |
| <i>Fontinalis antipyretica</i> | + | | + | + | | | + | + | | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | | |
| <i>Fontinalis squamosa</i> | | | | | | | | | | | | | + | | | | + | | | | | |
| <i>Hygroamblystegium fluviatile</i> | + | + | + | + | | + | | | | | + | | + | + | + | + | + | | | | | |
| <i>Leptodictyum riparium</i> | | | | | | | + | | | + | | + | + | + | + | + | + | | | | | + |
| <i>Platyhypnidium riparioides</i> | + | + | + | | | + | | | | | | | + | + | + | + | + | | | | | |
| <i>Callitriche hamulata</i> | + | | + | | + | | + | | | + | | + | | + | + | + | + | | + | + | | |
| <i>Callitriche obtusangula</i> | | | | | | | | | | | | + | | | | | | | | | | |
| <i>Callitriche platycarpa</i> | + | | | | + | + | | | | | | + | | + | + | + | + | | + | | | |
| <i>Callitriche stagnalis</i> | | | | | | + | | | | | | | | + | | | | | | | | |
| <i>Callitriche truncata</i> | | | | | | | | | | | | + | | | | | | | | | | |
| <i>Ranunculus peltatus</i> | | | | | | + | | | | + | | + | + | + | + | + | + | | | | | |
| <i>Ranunculus penicillatus</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | + | + | + | | |
| <i>Elodea canadensis</i> | | | | | | | | | | | | + | | | | | | | | | | |
| <i>Lemna minor</i> | | | | | | | | | | | | + | | | | | | | | | | |
| <i>Potamogeton crispus</i> | | | | | | | | | | | | + | | | | | | | | | | |
| <i>Agrostis stolonifera</i> | + | | | + | + | | | | | + | + | + | | + | + | + | + | | | | | |
| <i>Allisma plantago</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | + | | | | | |
| <i>Callitha palustris</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | + | | | | |
| <i>Carex paniculata</i> | | | | | | | | | | | | + | | | | | | + | | + | | |
| <i>Gallium palustre</i> | | | | | | | | | | | + | + | | | | | | | | | | |
| <i>Glyceria fluitans</i> | + | | | | | | | | | | + | + | | + | + | | | | | | | + |
| <i>Helosciadium nodiflorum</i> | + | | | + | + | | | | | + | | + | | + | + | | + | | | | | |
| <i>Hydrocotyle vulgaris</i> | | | | | | | | | | | | | | | | + | | | | | | |
| <i>Iris pseudacorus</i> | + | | | | + | | | | | | | | | + | + | | + | | | | | + |
| <i>Juncus bulbosus</i> | | | | | | | | | + | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Lycopus europaeus</i> | | | | | + | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Mentha aquatica</i> | | | | + | | | | | | | | | | | | | | + | | | | + |
| <i>Myosotis scorpioides</i> | + | | + | | | | | | | | | + | | + | + | | | | | | | |
| <i>Nasturtium officinale</i> | | | | | | | | | | | | | | + | | | | | | | | |
| <i>Phalaris arundinacea</i> | | | | + | + | | + | | | | | + | | + | + | + | + | | | + | | |
| <i>Polygonum hydrophilum</i> | | | + | | | | + | | | | | | | + | | | + | + | | | | |
| <i>Ranunculus flammula</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Scirpus sylvaticus</i> | | | | + | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Spartanum erectum</i> | | | | | | | | | | | | | | + | + | | + | | | | | |

La Mousse (station forestière oligotrophe) et le Choisel (station très ombragée par fermeture de la canopée) sont très pauvres. Le Tilleul au Bois du Triage, de même que la Halouze, sont assez pauvres car très ombragées si bien que les espèces héliophiles manquent.

Les stations anciennement recalibrées présentent des richesses spécifiques assez différentes dépendant de la recolonisation ligneuse des berges : la Mayenne très ombragée par une aulnaie-saussaie ripicole est assez pauvre en espèce; le Tilleul au Gué Chartier, l'Udon, la Rouvre et la Plesse dont la ripisylve n'est pas reconstituée présentent une richesse floristique importante.

En revanche l'eutrophisation du Tilleul amont et médian semble plutôt favoriser la biodiversité macrophytique.

Parmi les descripteurs de la végétalisation, tous les types biologiques, ainsi que le pourcentage de sol nu sont très variables d'une station à l'autre (Figure 11). De façon générale, les bryophytes sont surtout représentés dans les stations forestières, mais jamais absentes des stations éclairées. L'absence d'hydrophytes est générale dans les ruisseaux forestiers. A l'opposé, les ligneux ne sont néanmoins pas totalement absents des stations prairiales.

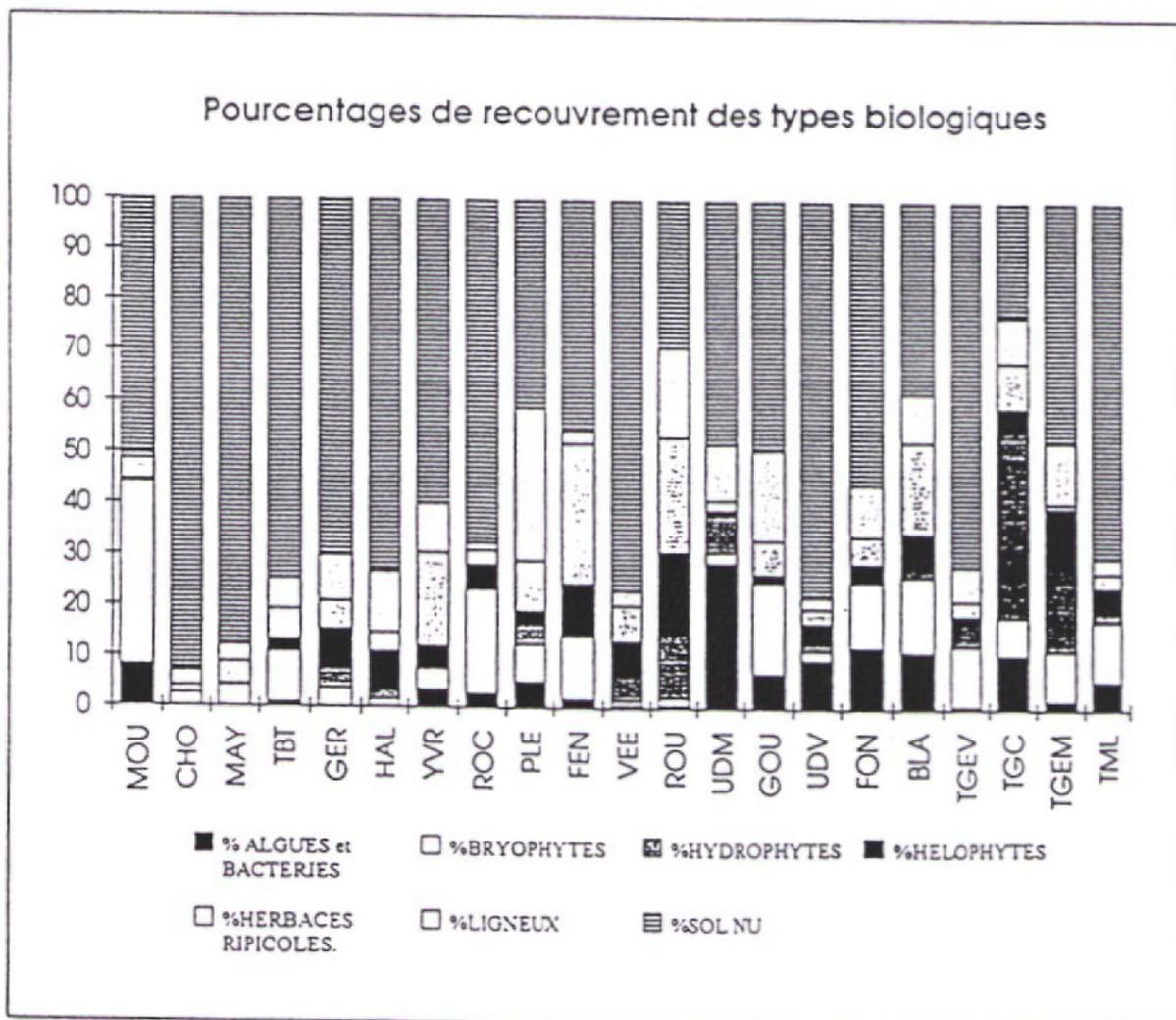


Figure 11 : Pourcentages de recouvrement des types biologiques et du sol nu.

3132 - Résultats des indices macrophytiques et classement des stations

Un calcul des indices macrophytiques a été réalisé selon 3 méthodes (HAURY & PELTRE 1993, HAURY 1994, HAURY & COIFFARD 1995), mais au vu de la seule liste floristique, donc sans prendre en considération l'abondance des populations :

- (i) HARDING (1978 in STANDING COMMITTEE OF ANALYSTS H.M.S.O. 1987,
- (ii) GIS (HAURY *et al.* 1996),
- (iii) NEWBOLD & HOLMES (1987)

Les deux premiers indices traduisent la « qualité de l'eau » en général pour HARDING, et plutôt l'absence de pollution organique surtout traduite par les ions ammonium et orthophosphates pour l'indice GIS : une meilleure qualité de l'eau est indiquée par une note supérieure. Le troisième indice traduit la trophie de l'eau et fonctionne donc en sens inverse, d'où l'ordination en fonction des notes décroissantes.

Les classements des stations sont cohérents, notamment pour les extrêmes, la Rouvre, la Mousse et le Choisel. La Mayenne, l'Yvrandes, la Fendrie et le Roche Elie ont une bonne qualité d'eau. Quelques discordances apparaissent pour certaines stations entre ces indices. Ainsi la Gourbe aurait une bonne qualité de l'eau selon l'indice HARDING, alors qu'elle correspondrait à une assez forte eutrophisation selon l'indice trophique, l'indice GIS donnant un diagnostic intermédiaire. Le Gérard, la Vée et la Plesse ont un classement plutôt négatif avec les indices HARDING et GIS par rapport à l'indice trophique.

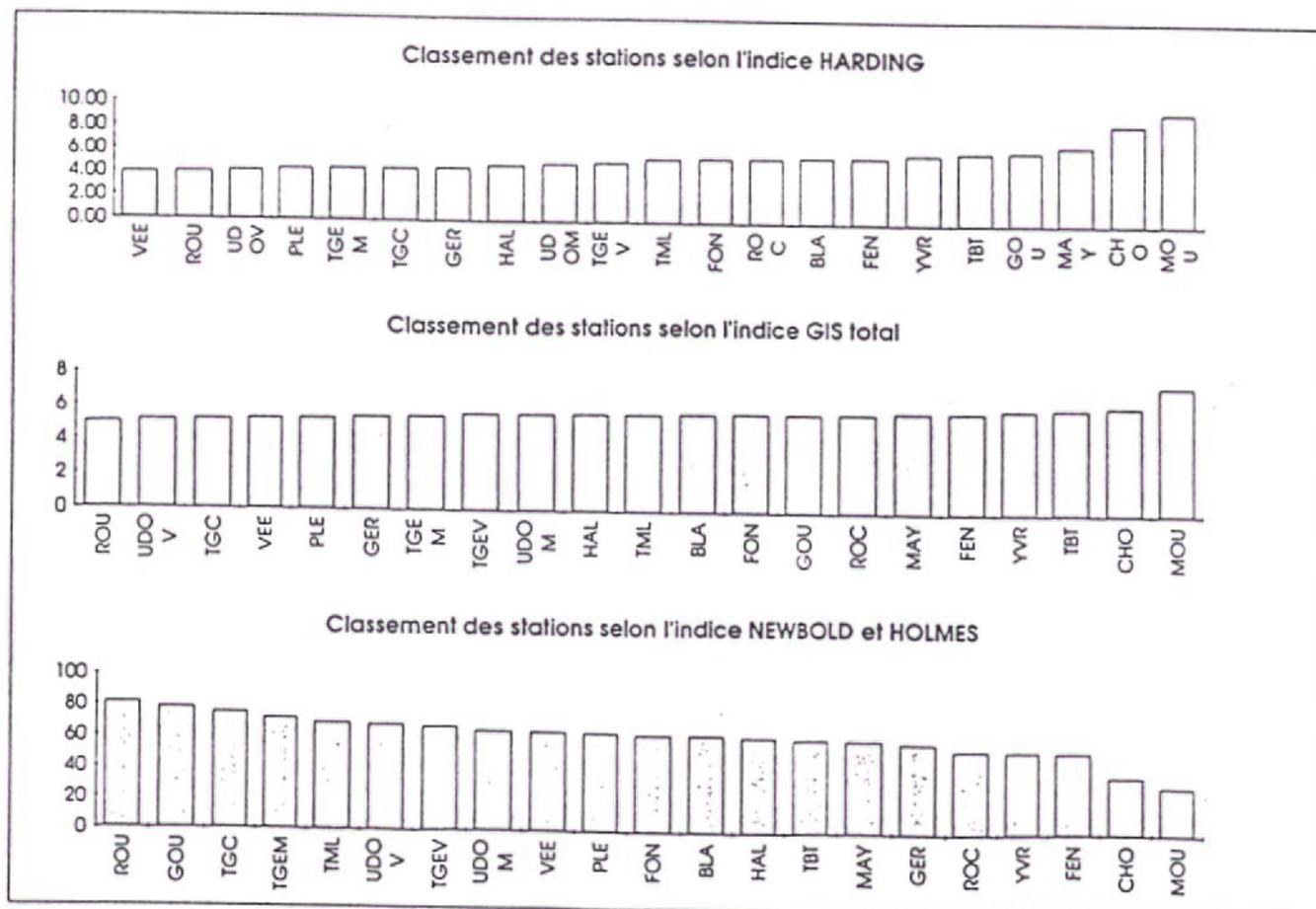


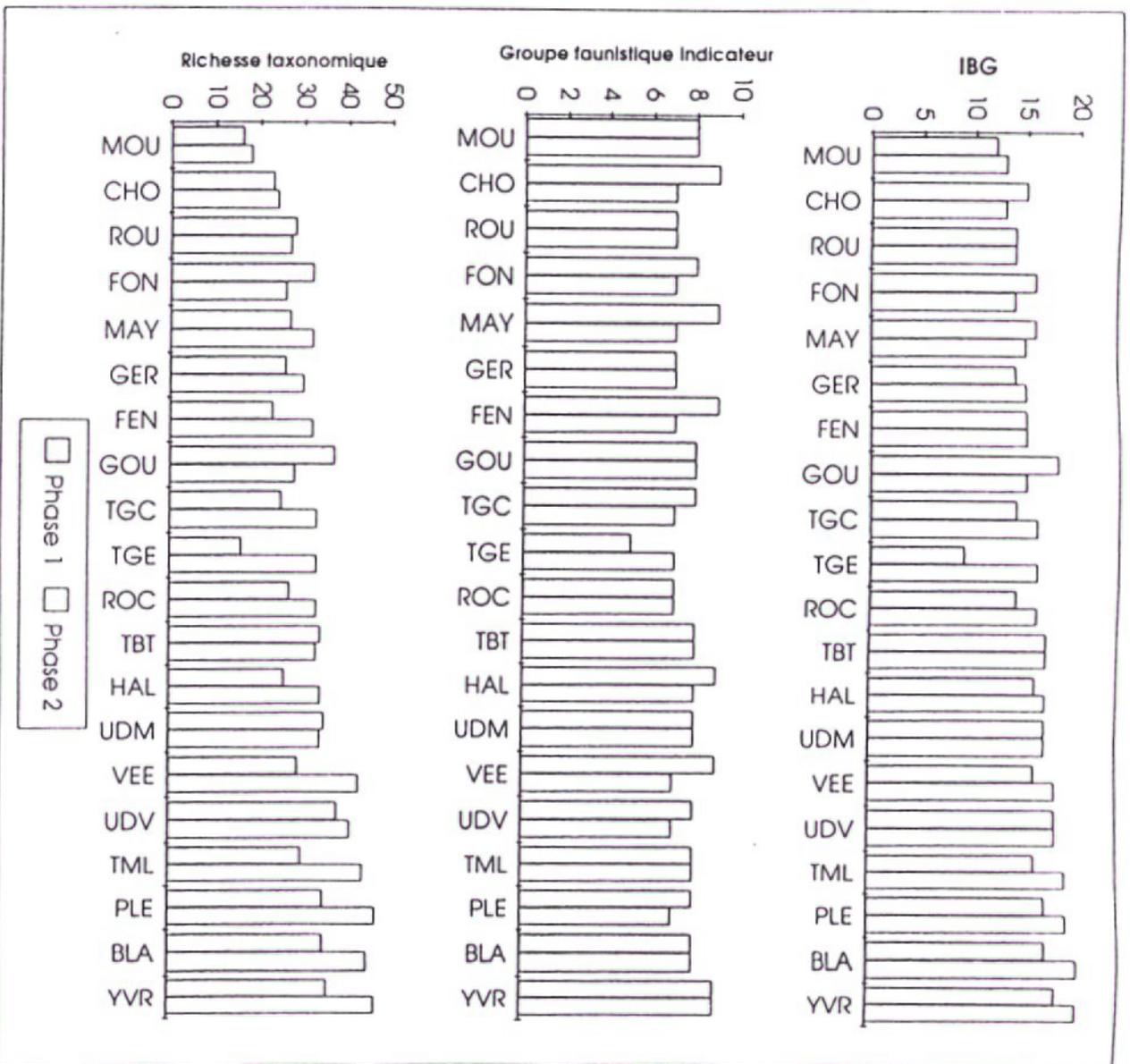
Figure 12 : Ordination des stations selon les valeurs des indices macrophytiques.

Tableau VIII : Invertébrés benthiques : listes faunistiques et écologie des taxons.

Taxonomie : O. : ordre; S.CL : sous-classe; CL : classe; E. : embranchement

Régime : PT : prédateurs; BY : broyeurs; CO : collecteurs; BT : brouteurs (TACHET et al. 1980)

| TAXONS | | PT | BY | CO | BT | BLA | CHO | FEN | FOP | GER | GOU | HAL | MAY | NOU | PLE | ROC | ROU | TBT | TGC | TGM | TGV | TML | UDM | UDV | VEE | V.P? | | | |
|---------------------|-------------------|--------------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|---|---|---|
| O. Plecoptères | Chloroperlidae | PT | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Leuctridae | BY | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | | |
| | Nemouridae | BY | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | | |
| | Perlidae | PT | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Perlodidae | PT | * | | | | | | * | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| O. Trichoptères | Brachycentridae | | * | | | | | | | | * | * | | | | | | | | | | | * | * | * | * | * | | |
| | Ecnomidae | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Glossomatidae | BT | * | | * | | | | | | * | * | | | | | * | * | | | | | | * | * | * | * | * | |
| | Goeridae | BT | * | | * | | | | | | * | * | | | | | * | * | | | | | | * | * | * | * | * | |
| | Hydropsychidae | CO | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | |
| | Hydroptilidae | PT | * | | | | | | | | * | * | | | | | * | * | | | | | * | * | * | * | * | * | |
| | Leptostomatini | BT | * | | | | | | | | * | * | | | | | * | * | | | | | * | * | * | * | * | * | |
| | Leptoceridae | | * | | | | | | | | * | * | | | | | * | * | | | | | * | * | * | * | * | * | |
| | Limnephilidae | BT | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| | Odonoceridae | | * | | | | | | | | * | * | | | | | * | * | | | | | * | * | * | * | * | * | |
| | Polycentropod | PT | * | | * | | | | * | | | | | | | | * | * | | | | * | * | * | * | * | * | * | |
| | Psychomyiidae | CO | | | | | | | | | | | | | | * | * | | | | | * | * | * | * | * | * | * | |
| | Rhyacophilidae | PT | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| Salicostomatidae | BT | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | |
| O. Ephéméroptères | Baetidae | BT | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | |
| | Coenidae | BT | | | * | | | | | | | | | | * | * | | | | | | * | * | * | * | * | * | * | |
| | Ephemerellidae | BT | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | |
| | Ephemeridae | BT | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | |
| | Heptageniidae | BT | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | |
| O. Hémiptères | Leptophlebiidae | BY | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | |
| | Apheloceridae | PT | | | | | | | | | | * | * | | | | * | * | | | | * | * | * | * | * | * | * | |
| | Geridae | PT | | | | | | | | | | * | * | | | | * | * | | | | * | * | * | * | * | * | * | |
| | Hydrometridae | PT | | | | | | | | | | | | | | * | * | | | | | * | * | * | * | * | * | * | |
| | Corixidae | | | | | | | | | | * | * | | | | | * | * | | | | * | * | * | * | * | * | * | |
| | Nesovelidae | PT | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| | Nepidae | PT | * | | | | | | | | | | | | | | * | * | | | | * | * | * | * | * | * | * | |
| | Veliidae | PT | | | * | | | | | | | | | | | | * | * | | | | * | * | * | * | * | * | * | |
| O. Coléoptères | Dryopidae | BY | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | |
| | Dytidae | PT | | | * | | | | | | | | | | * | * | | | | | * | * | * | * | * | * | * | * | |
| | Ermidae | BT | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | |
| | Gyrinidae | PT | | | * | | | | | | | | | | * | * | | | | | * | * | * | * | * | * | * | * | |
| | Helodidae | BT | | | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | |
| | Helophoridae | | * | | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | |
| | Hydrophilidae | BT | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | |
| | Hydrochidae | BY | | | * | | | | | | | | | | * | * | | | | | * | * | * | * | * | * | * | * | |
| | Hydrophilidae | | * | | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| | Limnobiidae | BT | * | | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| | O. Diptères | Anthomyiidae | PT | | | | | | | | | * | * | | | | * | * | | | | * | * | * | * | * | * | * | * |
| Athericidae | | PT | | | | | | | | | | | | | | * | * | | | | * | * | * | * | * | * | * | * | |
| Ceratopogonidae | | | | | * | | | | | | | | | | | * | * | | | | * | * | * | * | * | * | * | * | |
| Chironomidae | | CO | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| Culicidae | | BT | | | * | | | | | | | | | | * | * | | | | | * | * | * | * | * | * | * | * | |
| Dolichopodidae | | PT | * | | | | | | | | | | | | | * | * | | | | * | * | * | * | * | * | * | * | |
| Dixidae | | BT | | | * | | | | | | | | | | * | * | | | | | * | * | * | * | * | * | * | * | |
| Empididae | | PT | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| Limoniidae | | | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| Psychodidae | | BT | * | | | | | | | | | | | | * | * | | | | | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| Phycophlebotomidae | | | * | | | | | | | | * | * | | | | | * | * | | | | * | * | * | * | * | * | * | * |
| Simuliidae | | CO | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| Tabanidae | | PT | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| Tipulidae | BT | | | * | | | | | | | | | | * | * | | | | | * | * | * | * | * | * | * | * | * | |
| O. Odonates | Calaopterygidae | PT | * | | | | | | | * | * | | | | | * | * | | | | * | * | * | * | * | * | * | * | |
| | Cordulegasteridae | PT | | | * | | | | | | | | | * | * | | | | | * | * | * | * | * | * | * | * | * | |
| | Gomphidae | PT | | | * | | | | | | | | | * | * | | | | | * | * | * | * | * | * | * | * | * | |
| Libellulidae | PT | | | * | | | | | | | | | * | * | | | | | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | |
| O. Mégoptères | Bafidae | PT | * | | | | | | | | | | | * | * | | | | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | |
| | Onychiidae | PT | | | * | | | | | | | * | * | | | | | | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | |
| O. Plécoptères | Onychiidae | PT | | | * | | | | | | | * | * | | | | | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | |
| O. Hyménoptères | Agrotyphidae | PT | | | * | | | | | | | | | * | * | | | | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | |
| S.CL. Branchiopodes | | | * | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| O. Amphipodes | Gammaridae | BY | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| O. Isopodes | Aeolidae | BY | | | * | | | | | | * | * | | | | * | * | | | | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| CL. Bivalves | Sphaeriidae | CO | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| CL. Gastéropodes | Ancylidae | BT | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| | Hydrobiidae | BT | | * | | | | | | * | * | | | | | * | * | | | | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| | Planorbidae | BT | | * | | | | | | * | * | | | | | * | * | | | | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| | Limnidae | BT | | * | | | | | | * | * | | | | | * | * | | | | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| CL. Achètes | Ergasilidae | PT | * | | | | | * | | | | | | * | * | | | | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| | Gosiopteridae | PT | * | | | | | * | | | | | | * | * | | | | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| CL. Oligochètes | | | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| | | | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| O. Hydrozoaires | | | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| E. Spongiaires | | CO | | | * | | | | | | | | | * | * | | | | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| O. Tricladés | Dugesidae | PT | | | * | | | | | | | | * | * | | | | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| | Planariidae | PT | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * |



Figures 13 : Comparaisons entre stations et phases des I.B.G. et paramètres afférents.

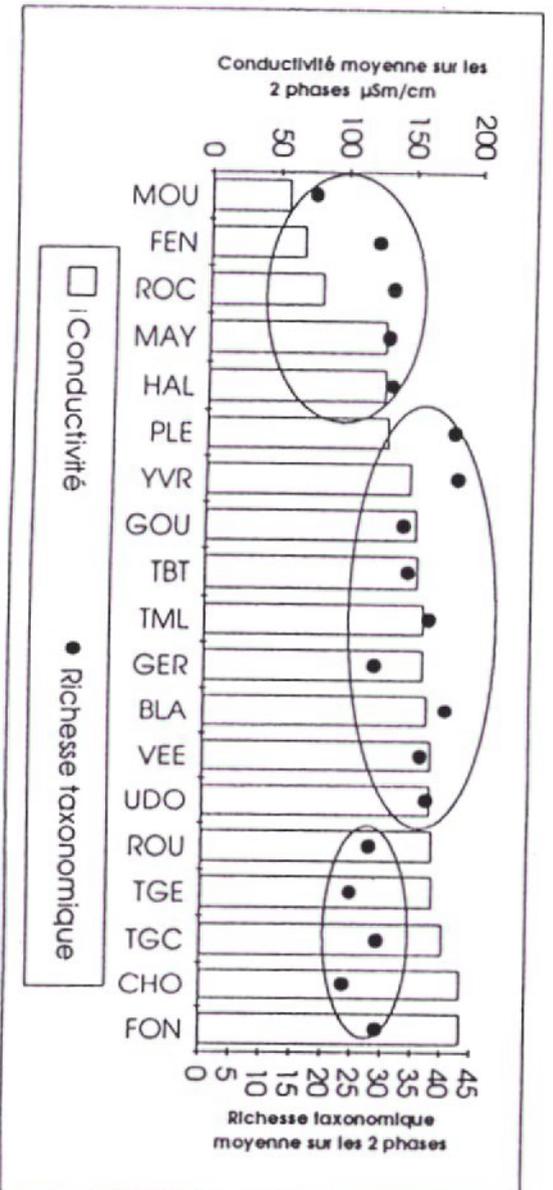


Figure 14 : Relations richesse taxonomique / conductivité

314 - Invertébrés benthiques

3141 - Données générales

La liste des invertébrés benthiques recensés lors de cette phase figure dans le **Tableau VIII**. Par ailleurs, leur régime alimentaire est synthétisé à partir des travaux de TACHET *et al.* (1980). Au total, 79 taxons utilisables pour les I.B.G.N. (famille, ordre, classe ou embranchement) ont été recensés.

La richesse taxonomique est très variable d'une station à l'autre : entre moins de 20 pour la Mousse et près de 50 pour l'Yvrande.

3142 - Résultats des I.B.G.N.

Les résultats des I.B.G.N., des notes des groupes faunistiques indicateurs et de la richesse taxonomique des phases 1 et 2 sont illustrées dans la **figure 13**.

Il en ressort que la Mousse est mal classée, en raison de la très faible richesse taxonomique qui la caractérise. A l'inverse, l'Yvrande, la Blandinière ont le maximum (20/20), grâce à la fois aux taxons indicateurs et à leur richesse faunistique. La Plesse, mais aussi le Moulin Lassue ont également de très bonnes notes.

Au total, 9 stations ont un indice >16 et 11 stations (regroupement du Grand Etinoux) compris entre 13 et 16.

3143 - Relations I.B.G.N. / autres paramètres

La recherche de facteurs explicatifs quant à ces résultats des I.B.G.N. amène à constater que la conductivité de l'eau (**figure 14**), facteur déterminant la richesse taxonomique, est un paramètre important :

- dans les stations oligotrophes (valeur moyenne < 130 $\mu\text{S/cm}$), et très spécialement sur la Mousse, la richesse taxonomique est faible, ce qui fait chuter l'indice.
- dans les stations mésotrophes, avec une conductivité comprise entre 130 et 169 $\mu\text{S/cm}$, la richesse taxonomique est globalement supérieure.
- dans les stations eutrophes (conductivité > 169 $\mu\text{S/cm}$), la richesse taxonomique chute à nouveau.

Ces deux cas de figure correspondent à des richesses taxonomiques moyennes (les deux phases confondues) de 17 à 30 taxons pour les stations oligotrophes ou eutrophes et de 28 à 42 taxons pour les stations « mésotrophes ».

Un test T été réalisé pour tester les relations I.B.G.N. - autres paramètres. Hormis pour les nitrates où la corrélation est démontrée (Probabilité de non corrélation = 0,5 %), les autres paramètres semblent peu corrélés, sinon au seuil de 10 % : le % d'algues, le % de plantes ripicoles, la conductivité et le fer (COIFFARD & HAURY 1996).

315 - Poissons

3151- Résultats généraux

Les différentes espèces de poissons répertoriées grâce aux pêches électriques sont recensées dans le Tableau IX, qui compare en outre les résultats des phases 1 et 2.

Tableau IX : Richesse spécifique des peuplements pisciaires des phases 1 et 2.

(TRF : Truite fario; CHA : Chabot; LOF : Loche franche; VAI : Vairon; LPP : Lamproie de Planer; APP : Ecrevisse à pattes blanches; ANG : Anguille; GOU : Goujon; CHE : Chevesne; VAN : Vandoise; ABH : Able de Heckel; CCO : Carpe commune; GAR : Gardon; ROT : Rotengle; TAN : Tanche; EPT : Epinochette; PER : Perche; BRO : Brochet).

| | | TRF | CHA | LOF | VAI | LPP | APP | ANG | GOU | CHE | VAN | ABH | CCO | GAR | ROT | TAN | EPT | PER | BRO |
|--------------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Blandinière | 1990 | + | + | + | + | + | | | | | | | | | | | | | |
| | 1994 | + | + | + | + | + | | | | | | | | | | | | | |
| Choisel | 1989 | + | + | + | + | + | | | | | | | | | | | | | |
| | 1994 | + | + | + | + | | + | | | | | | | | | | | | |
| Fendrie | 1989 | + | + | + | | + | + | | | | | | | | | | | | |
| | 1994 | + | + | | | + | + | | | | | | | | | | | | |
| Fontaine au Héron | 1993 | + | | | | | | + | | | | | | | | | | | |
| | 1994 | + | | + | | | | + | | | | | | | | | | | |
| Gérard | 1989 | + | + | | + | + | + | | | | | | | | | | | | |
| | 1994 | + | + | + | + | + | + | | | | | + | | | | | | | + |
| Gourbe | 1991 | + | + | + | + | + | | | + | + | | | | | | + | | | + |
| | 1994 | + | + | + | + | | | | + | + | | | | | | | | | + |
| Halouze | 1989 | + | + | + | + | + | | | + | + | | | + | | | | | | + |
| | 1994 | + | + | + | + | + | | | + | | | | | + | | | | | + |
| Mayenne | 1993 | + | + | + | + | + | | | | | | | | + | | | | | + |
| | 1994 | + | + | + | + | + | | | | + | | | | | + | | | | + |
| Mousse | 1993 | + | | | | + | | | | | | | | | | | | | |
| | 1994 | + | | | | + | + | | | | | | | | | | | | |
| Pesse | 1990 | + | + | + | + | + | | | | | | | | | | | | | |
| | 1994 | + | + | + | + | + | | | | | | | | | | | | | |
| Roche Elie | 1990 | + | + | + | + | + | | + | | | | | | | | | | | |
| | 1994 | + | + | + | + | + | | + | | | | | | | | | | | |
| Rouvre | 1993 | + | | + | + | + | | + | + | + | | | | | | | | | + |
| | 1994 | + | | + | + | | | + | + | + | | | | | | | + | | + |
| Tilleul | 1991 | + | + | + | + | + | | | + | + | | | | | | | + | | + |
| Gué Chartier | 1994 | + | + | + | + | + | + | | + | + | + | | | + | | | | | + |
| Tilleul Grand | 1991 | | + | + | + | + | | | + | + | | | | + | | | | | + |
| Etinoux amont | 1994 | + | + | + | + | | | | + | + | | | + | + | | | | | + |
| Tilleul Grand | 1991 | | + | + | + | + | | | + | + | | | | + | | | | | + |
| Etinoux aval | 1994 | | + | + | + | | | | + | + | | | | + | | | | | + |
| Tilleul Moulin | 1991 | + | + | + | + | + | | | + | + | | | | + | | | | | + |
| Lassue | 1994 | + | + | + | + | | | | + | + | | | | + | | + | | | + |
| Tilleul Bois du Triage | 1992 | + | + | + | + | | | | + | + | | | | + | | + | | | |
| | 1994 | + | + | + | + | | | | + | + | | | | + | + | | | | |
| Udon aval réaménagé | 1991 | + | + | + | + | + | + | | + | | + | | | | | | | | + |
| | 1994 | + | + | + | + | + | | | + | | + | | | + | | | | | + |
| Udon amont non réaménagé | 1991 | + | + | + | + | + | | | + | | + | | | + | | | | | + |
| | 1994 | + | + | + | + | + | | | + | | + | | | + | | | | | + |
| Vée | 1989 | + | + | + | + | + | | | + | + | | | | | | | | | |
| | 1994 | + | + | + | + | + | | | + | + | | | | + | | | | | |
| Yvrandes | 1993 | + | + | | + | + | + | | | | | | | + | | | | | |
| | 1994 | + | + | | + | + | | | | + | | | | | | | | | |

Au total on dénombre 18 espèces de « poissons », (y compris 1 cyclostome et un macro-crustacé, l'Ecrevisse à pattes blanches). La richesse spécifique par cours d'eau varie entre 3 à 11 espèces.

A l'exception des cours d'eau de faible pente et de grande largeur (Tilleul au Bois du Triage, Halouze, Udon), le peuplement ne devrait comporter que les espèces suivantes dans ces têtes de bassin versant :

- la Truite fario et ses espèces d'accompagnement : Chabot, Loche franche, Vairon et Lamproie de Planer,
- éventuellement l'Anguille et l'Ecrevisse à pattes blanches.

Seulement 1/3 des cours d'eau ont un peuplement pisciaire correspondant à leur niveau typologique. Parmi eux, la Mousse et la Fontaine au Héron présentent la plus faible richesse spécifique (3 espèces).

La richesse excessive des autres cours d'eau se traduit par la présence de cyprinidés d'eau vive (Goujon, Chevesne et Vandoise) ou d'eau calme (Gardon, Tanche, Rotengle), et de carnassiers (Brochet et Perche). La présence de nombreux étangs semble la cause principale de cette prolifération d'espèces atypiques. L'impact des étangs est particulièrement marqué sur le Tilleul au Gué Chartier et au Grand Etinoux, stations situées respectivement en amont et en aval de deux plans d'eau, et sur la Gourbe, dont le bassin versant compte plus de 30 étangs dont la plupart sont en communication avec les cours d'eau. Ceci se traduit par une participation importante des espèces « indésirables » à la biomasse totale (figure 15)

L'Ecrevisse à pattes blanches est présente sur 7 ruisseaux, mais ne se maintient à un bon niveau que sur la Fendrie et le Gérard.

Quant à l'Anguille, elle est seulement présente sur deux ruisseaux du bassin de l'Orne, la Fontaine au Héron et la Rouvre, situés à l'aval du barrage de Rabodanges, et sur le Roche Elie, ruisseau du bassin de la Sarthe.

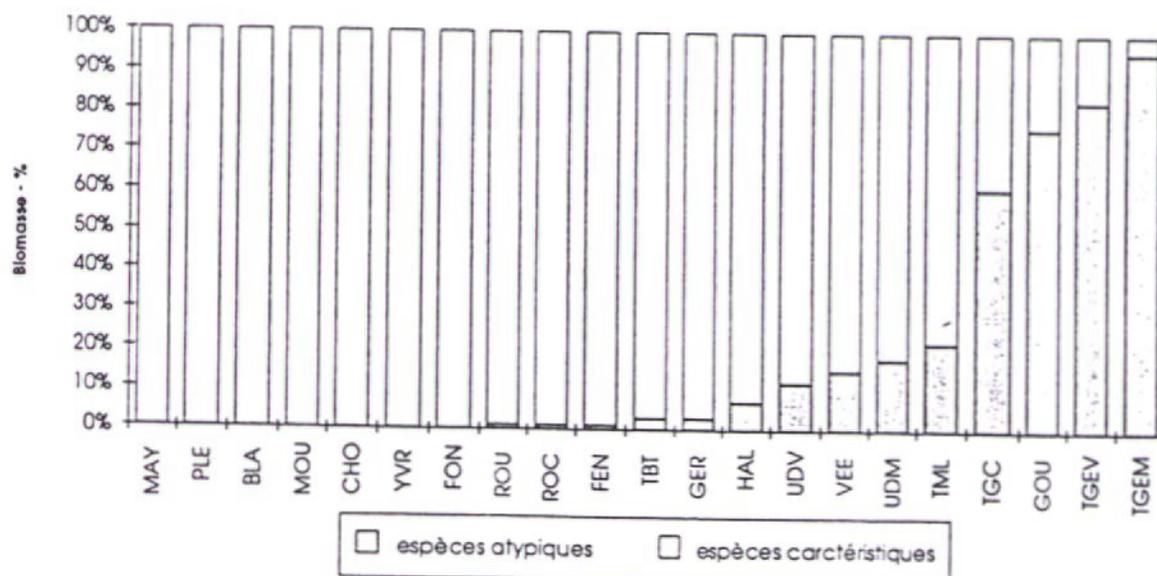


Figure 15 : Proportion des espèces atypiques et caractéristiques des niveaux biologiques « normaux » dans la biomasse pisciaire totale.

3152 - *Indice Truite.*

L' « indice truite » permet d'estimer la qualité de la population de truites. L'indice truite moyen est de 8/20 en 1994, ce qui traduit l'état de dégradation des populations en tête de bassin versant.

Seuls 7 cours d'eau ont un bon indice truite (de 11 à 15), et, pour deux d'entre eux, ce bon chiffre n'est dû qu'aux effets de déversement de truitelles de repeuplement :

- la Fontaine au Héron (15/20), l'Yvrande (14/20), la Fendrie (13/20), la Mousse (12/20) et le Roche Elie (11/20) semblent de « bons cours d'eau à truites »;
- le Choisel (13/20) et la Vée (11/20) ont bénéficié de déversement de truitelles à la fin du printemps.

Huit cours d'eau présentent un indice truite faible (de 6 à 10) :

- le Tilleul au Bois du Triage (ce qui marque une restauration à l'aval du Tilleul), la Gourbe et la Mayenne (6/20),
- l'Udon amont (7/20), le Gérard (8/20), la Plesse et la Blandinière (9/20),
- la Halouze (10/20).

Pour les 6 autres stations, la valeur de l'indice est médiocre (< 6) ou nulle :

- Udon aval (ce qui implique que les travaux de restauration entrepris sont peu efficaces, voire néfastes), Moulin Lassue (début de récupération de l'impact des étangs, mais limitation par les pollutions dues ruisseau de la Haie Portée - GODON 1992), et Rouvre (< 5/20),
- Gué Chartier (3,5/20), ce qui traduit à la fois l'impact du recalibrage et de la station d'épuration de Ciral,
- Grand Etinoux amont (0,5/20) et aval (0) où les populations sont annihilées par l'impact des étangs (eutrophisation, réchauffement des eaux, colmatage des fonds).

Cet indice truite traduit bien l'occupation de l'espace (**figure 16**) : les meilleurs indices sont obtenus pour les bassins versants agricoles de type bocage ou forestiers, et les moins bons pour les bassins versants agricoles à maille large. Le bassin le plus intensif, la Rouvre, n'est toutefois pas celui qui donne la valeur minimale.

Logiquement, il existe alors une relation entre les densités de haies et la valeur de l'indice (**figure 17**). Le cas particulier de la Halouze, ainsi que son peuplement particulier (« plus aval ») amènerait à envisager éventuellement un amendement de cet indice en fonction de la taille des cours d'eau.

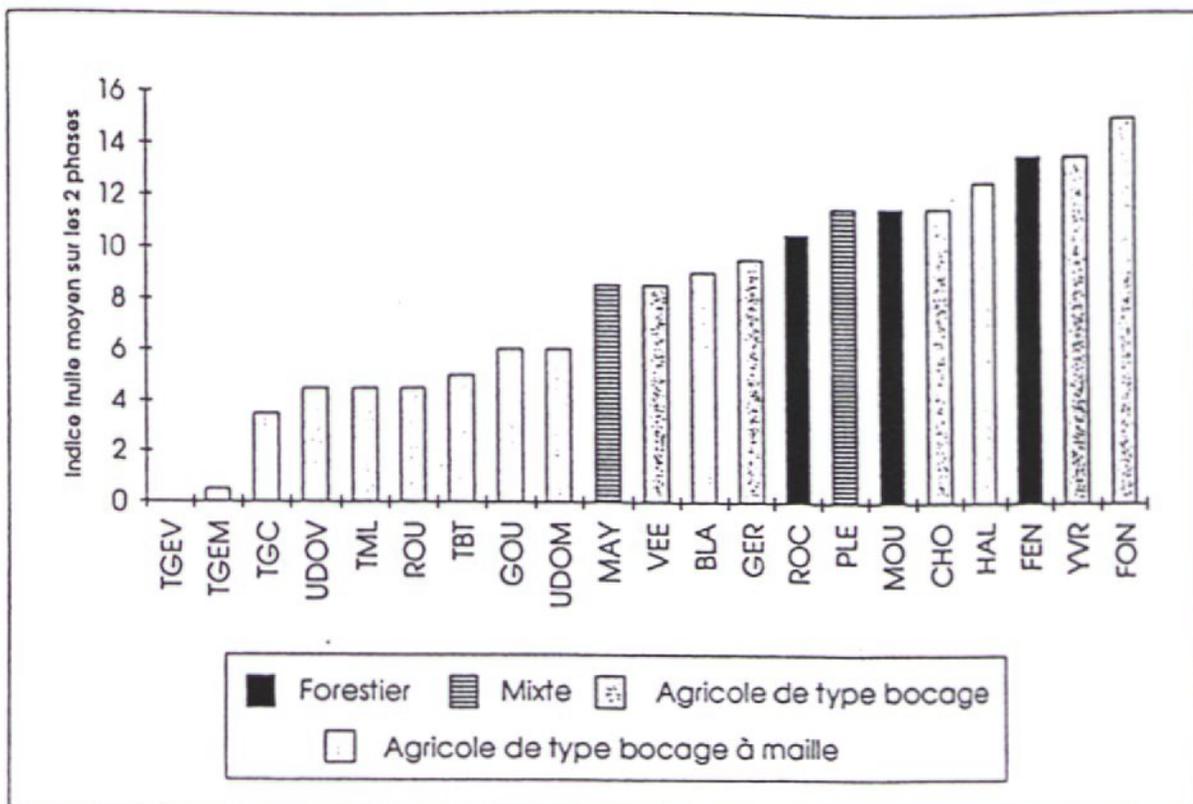


Figure 16 : Relations indice truite / usage du bassin versant.

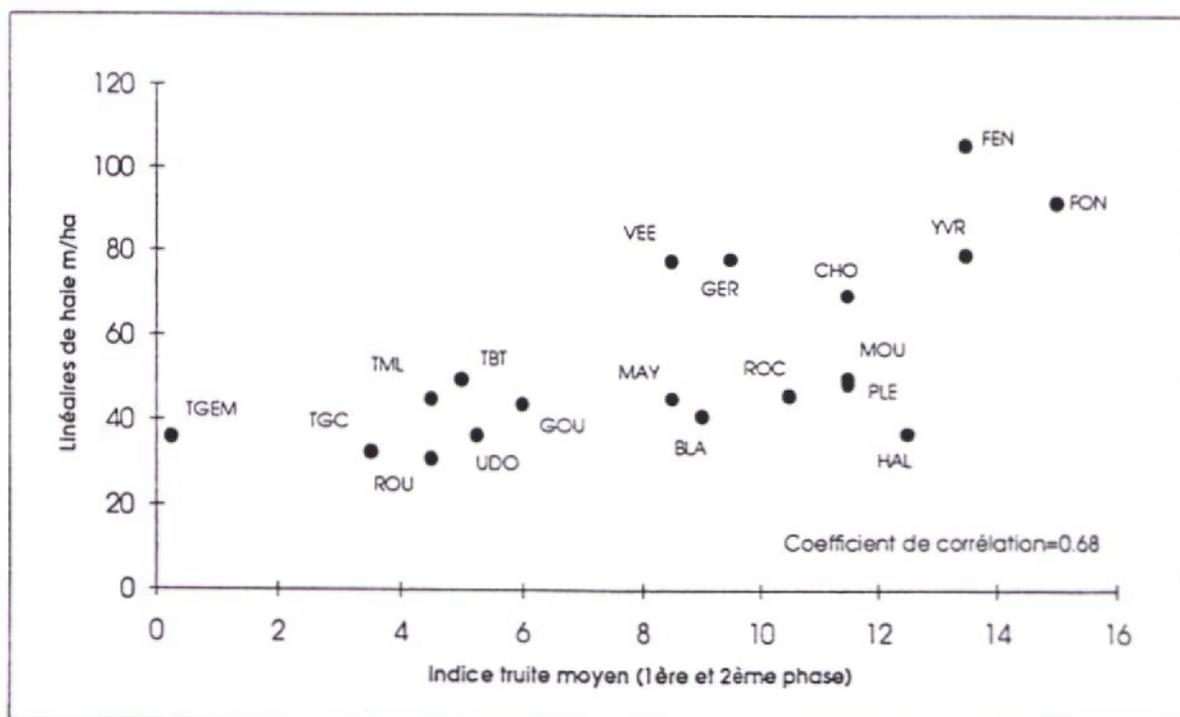


Figure 17 : Graphe de corrélation entre la densité relative des haies sur les bassins versants et l'indice truite.

32 - Analyse à l'échelle du segment sur données brutes

321 - Caractérisation physique de l'habitat

Une A.C.P. puis une C.A.H. sur les données de milieu physique fait apparaître une structure essentiellement tri-dimensionnelle, les 3 premiers axes expliquant 54 % de l'inertie totale.

3211 - Relations entre variables (figure 18)

L'axe 1 oppose, d'une part, un écoulement de type lisse associé à une granulométrie fine (sable, argile et limon dans une moindre mesure) et d'autre part un écoulement de type friselis et turbulent, associé aux pentes accentuées et à une granulométrie plus grossière (galets et blocs). **Ce premier axe est donc caractérisé par le type d'écoulement et la granulométrie.**

L'axe 2 oppose de façon symétrique la largeur et la profondeur associées au colmatage, au nombre de faciès d'écoulement par 100 m et met en évidence que les ruisseaux peu larges et peu profonds se caractérisent par une plus grande diversité d'habitat. **Ce deuxième axe est donc relatif au gabarit des cours d'eau en liaison avec leur colmatage.** L'axe 3 est essentiellement caractérisé dans sa partie négative par l'éclairement et le pourcentage de caches sous macrophytes, ainsi que les hydrophytes et héliophytes. La partie positive est caractérisée par l'importance des racines et débris végétaux et des caches associées. Les racines et débris végétaux apparaissent liés au taux de boisement, induisant un faible éclairement du cours d'eau. **Ce troisième axe peut donc s'interpréter comme un axe de végétalisation et de distribution des macrophytes en relation avec l'importance de l'éclairement.** Les héliophytes et les hydrophytes sont favorisés par un éclairement important, alors que la distribution des algues et des bryophytes semble indépendante de ce paramètre.

3212 - Distribution des stations dans le plan factoriel (figure 19)

L'axe 1 est caractérisé dans sa partie positive par la **Halouze**, le **Tilleul au Gué Chartier** et l'**Udon amont** (avec des contributions respectives de 14 %, 13,8 % et 10,6 %) et dans une moindre mesure par l'**Udon aval** et la **Vée**, tous ces cours d'eau présentant effectivement un écoulement de type lisse associé à une granulométrie fine. La partie négative de l'axe regroupe essentiellement la **Gourbe** (contribution de 10,2 %) et l'**Yvrandes** (8,7 %) cours d'eau d'écoulement turbulent lié à une pente importante et à une granulométrie plus grossière (galets, blocs).

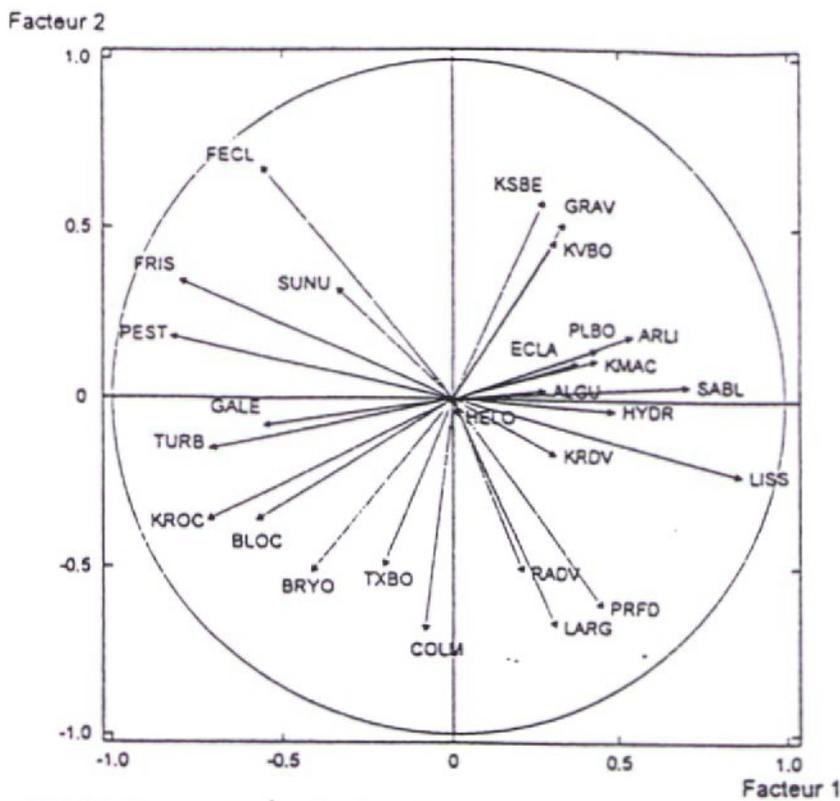


Figure 18 : Relations entre variables de l'A.C.P. Mésologie. Plan factoriel F1 x F2.

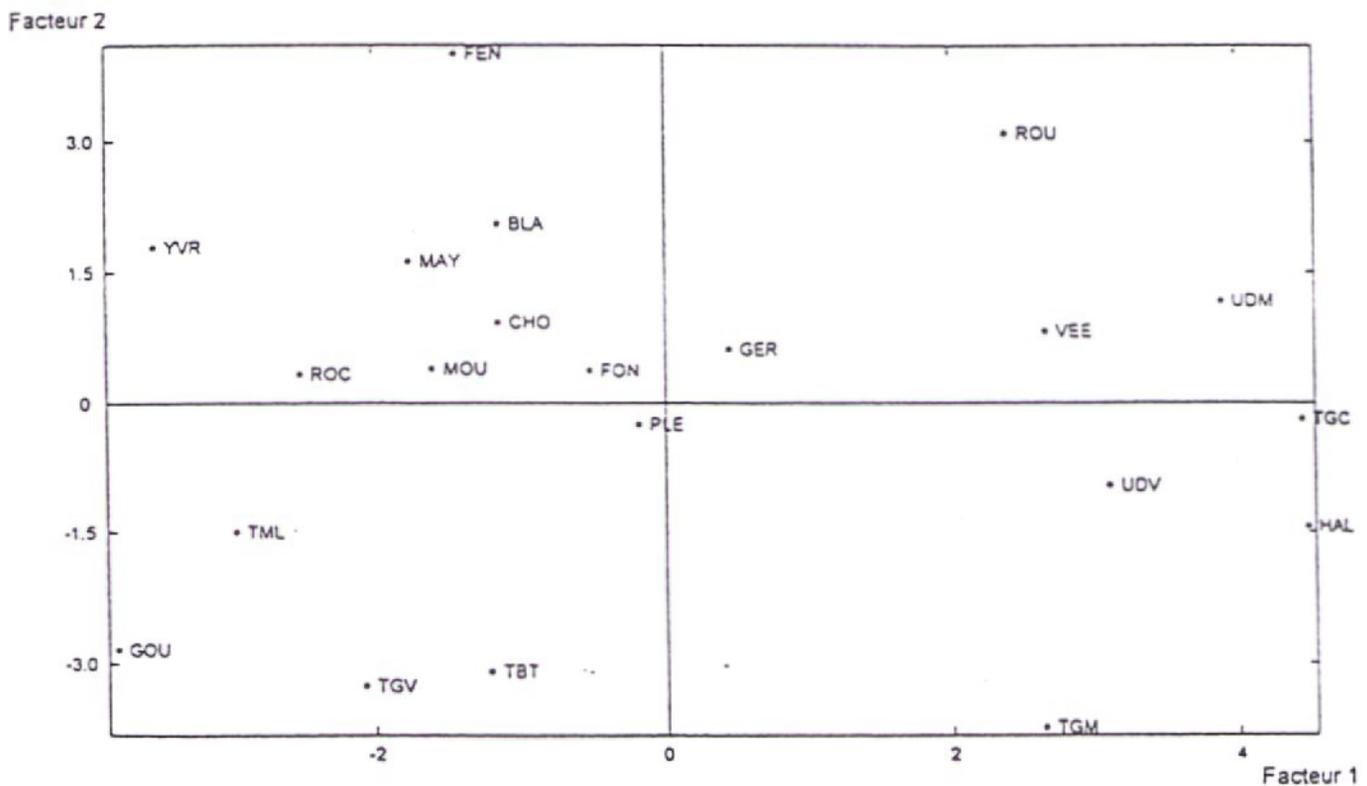


Figure 19 : Distribution des stations dans le plan factoriel F1 x F2 de l'A.C.P. Mésologie

Signification des stations : BLA : Blandinière; CHO : Choisel; FEN : Fendrie; FON : Fontaine au Héron; GER : Gérard; GOU : Gourbe; HAL : Halouze; MAY : Mayenne; MOU : Mousse; PLE : Plesse; ROC : Roche-Elie; ROU : Rouvre; TBT : Tilleul au Bois du Triage; TGC : Tilleul au Gué Chartier; TGM : Tilleul au Grand Etinoux amont; TGV : Tilleul au Grand Etinoux aval; TML : Tilleul au Moulin Lassue; UDM : Udon amont; UDV : Udon aval; VEE : Vée; YVR : Yvrandes.

L'axe 2 oppose d'une part, dans sa partie négative, deux stations du Tilleul au gabarit important et de fort colmatage, le **Grand Etinoux amont** (contribution de 16,1 %) et le **Bois du Triage** (11 %), et une autre station du Tilleul, le **Grand Etinoux aval** (12,1 %) de dimensions plus réduites, mais présentant le taux de colmatage le plus élevé de toutes les stations de l'Observatoire, et d'autre part, dans sa partie positive, la **Fendrie** (contribution de 18,5 %) et la **Rouvre** (11,2 %), cours d'eau de faible gabarit peu colmatés.

L'axe 3 oppose les deux stations les plus ombragées, le **Choisel** (contribution à l'axe : 11,9 %) et la **Mayenne** (10,7 %), aux deux stations les plus éclairées, l'**Yvrandes** (14,4%) et le **Tilleul au Gué Chartier** dont la contribution atteint 33,3 %. D'autre part, l'**Yvrandes** est caractérisée par la présence d'hélophytes (taux de recouvrement de 1 % pour une moyenne sur l'ensemble des stations de 0,17 %) et le **Tilleul au Gué Chartier** par un très fort recouvrement en hydrophytes (41,8 % pour une moyenne générale de 3,71 %).

3213 - Caractérisation des stations par les variables

L'examen de l'histogramme des indices de niveau et du dendrogramme (**figure 20**) issus de la CAH incite à répartir les stations de l'Observatoire en 5 classes.

La **classe 1** regroupe la majorité des stations de l'Observatoire des rivières (11 sur 21) : la **Blandinière**, le **Choisel**, la **Fendrie**, la **Fontaine au Héron**, le **Gérard**, la **Mayenne**, la **Mousse**, la **Plesse**, le **Roche Elie**, la **Rouvre** et le **Tilleul au Moulin Lassue**. Ces stations sont caractérisées par une plus grande densité linéaire des faciès d'écoulement (22,58 contre 18,08 en moyenne), une plus faible profondeur (13,74 cm / 17,91), et une plus faible largeur (2,02 m / 2,69)

La **classe 2** regroupe 3 stations : la **Gourbe**, le **Tilleul au Bois du Triage** et l'**Yvrande**. Elles sont caractérisées par une granulométrie grossière faite de blocs (39,38 % / 12,54 en moyenne) ménageant par conséquent un nombre élevé de caches sous roches (9,98 % / 3,63) et induisant un écoulement turbulent (16,03 % / 5,58).

La **classe 3** correspond aux deux stations du **Tilleul au Grand Etinoux** qui sont caractérisées par un colmatage très important (84,80 % / moyenne de 32,06), beaucoup de bryophytes (21,10 % / 5,88) et surtout un pourcentage de racines et débris végétaux élevé (13,85 % / 5,46) en relation avec un taux de boisement important.

La **classe 4** n'est représentée que par une seule station, le **Tilleul au Gué Chartier** (TGC) dont la particularité réside dans un peuplement de macrophytes très important, en relation avec l'éclairement le plus élevé des stations de l'Observatoire.

La **classe 5** regroupe la **Halouze**, les deux stations de l'**Udon** et la **Vée**. Ce sont des stations plus riches en plantes ripicoles (4,5 % / 1,7), à écoulement lisse très dominant (82,85% / 56,2 %) donc écoulement friselis rare (16,67 % / 38,22), et une pente des stations particulièrement faible (0,35 % / 1).

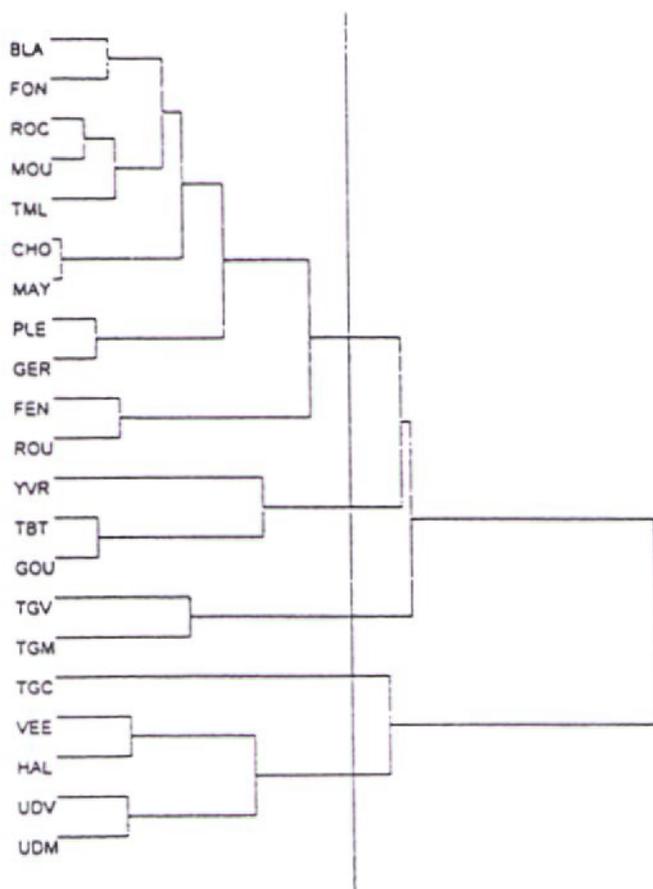


Figure 20 : Dendrogramme sur les axes factoriels de l'A.C.P. Mésologie permettant de distinguer 5 classes.

La station du Tilleul au Gué Chartier apparaît donc tout à fait particulière. Compte tenu de sa forte contribution à l'établissement de l'axe 1, un second ensemble A.C.P. + C.A.H. en la traitant comme individu illustratif a été réalisé. Les résultats sont peu modifiés, sinon que le troisième axe est moins inféodé aux macrophytes.

Toutefois, l'intégration de variables nominales illustratives relatives au recalibrage et à la présence d'étangs, ainsi que la mise en individu supplémentaire du Gué Chartier permettent de mieux comprendre les deux causes majeures de perturbations de ces petits cours d'eau en tête de bassin versant (**figure 21**) :

- le recalibrage correspond plutôt à l'axe 1; il se traduit par une granulométrie fine, et une augmentation de l'écoulement lisse,
- la présence d'étangs est liée à l'axe 2, et semble favoriser le colmatage.

Facteur 2

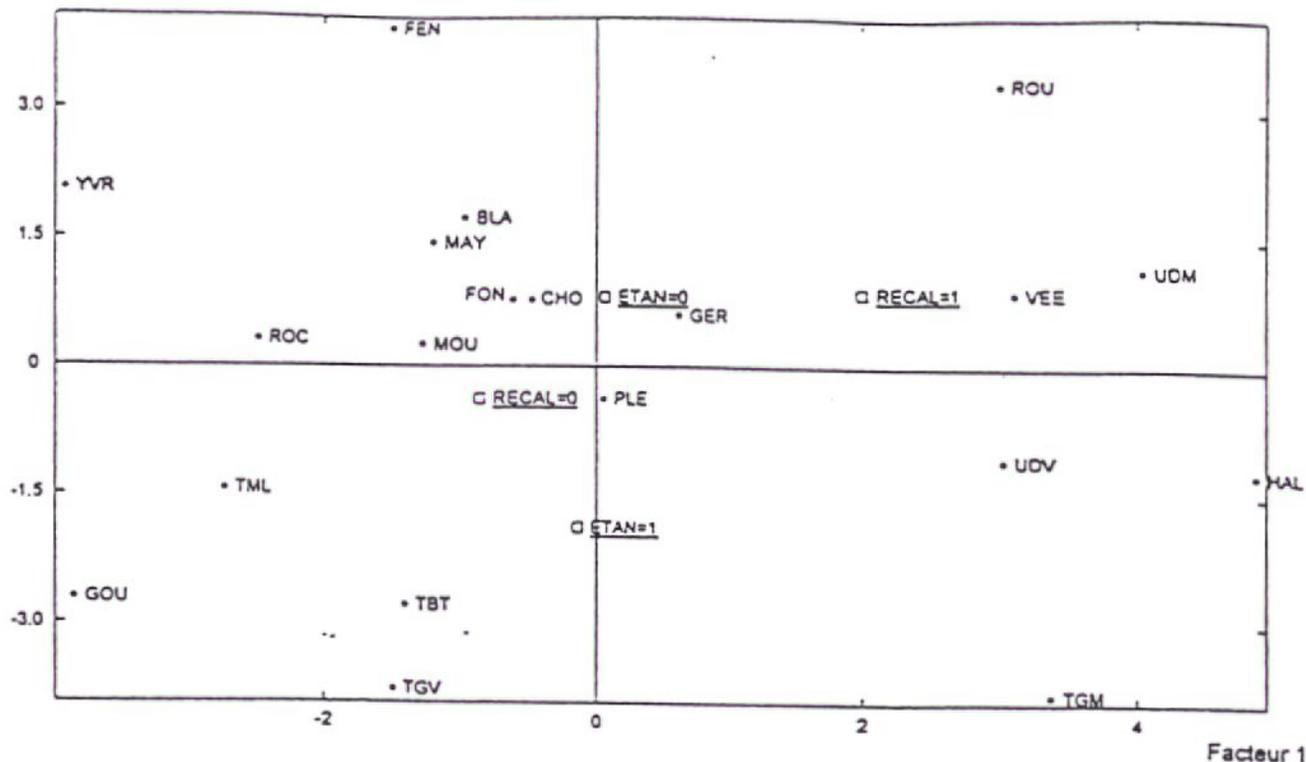


Figure 21 : Déterminisme écologique de la répartition des stations dans le plan factoriel de l'A.C.P. Mésologie avec le Gué Chartier en individu illustratif.

Signification des stations : BLA : Blandinière; CHO : Choisel; FEN : Fendrie; FON : Fontaine au Héron; GER : Gérard; GOU : Gourbe; HAL : Halouze; MAY : Mayenne; MOU : Mousse; PLE : Plesse; ROC : Roche-Elie; ROU : Rouvre; TBT : Tilleul au Bois du Triage; TGC : Tilleul au Gué Chartier; TGM : Tilleul au Grand Etinoux amont; TGV : Tilleul au Grand Etinoux aval; TML : Tilleul au Moulin Lassue; UDM : Udon amont; UDV : Udon aval; VEE : Vée; YVR : Yvrandes.

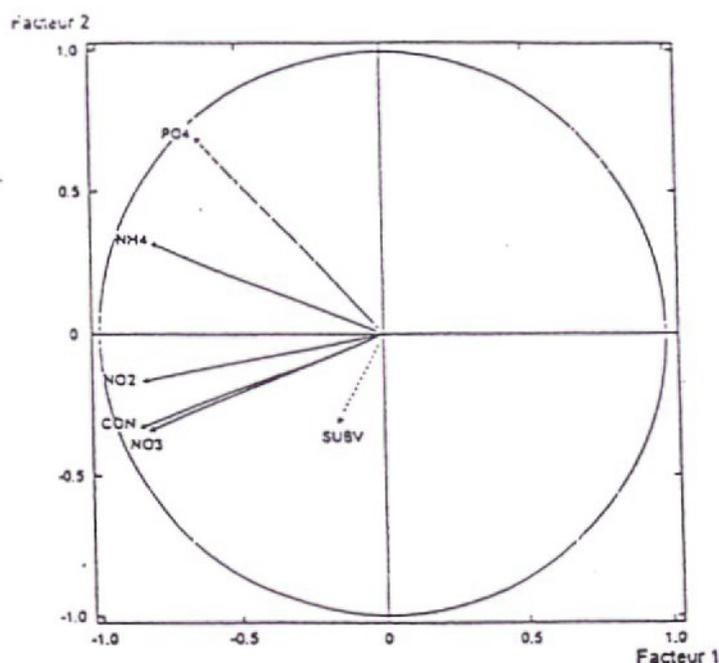


Figure 22 : Répartition des variables dans le plan factoriel F1 x F2 de l'A.C.P. Physico-chimie.

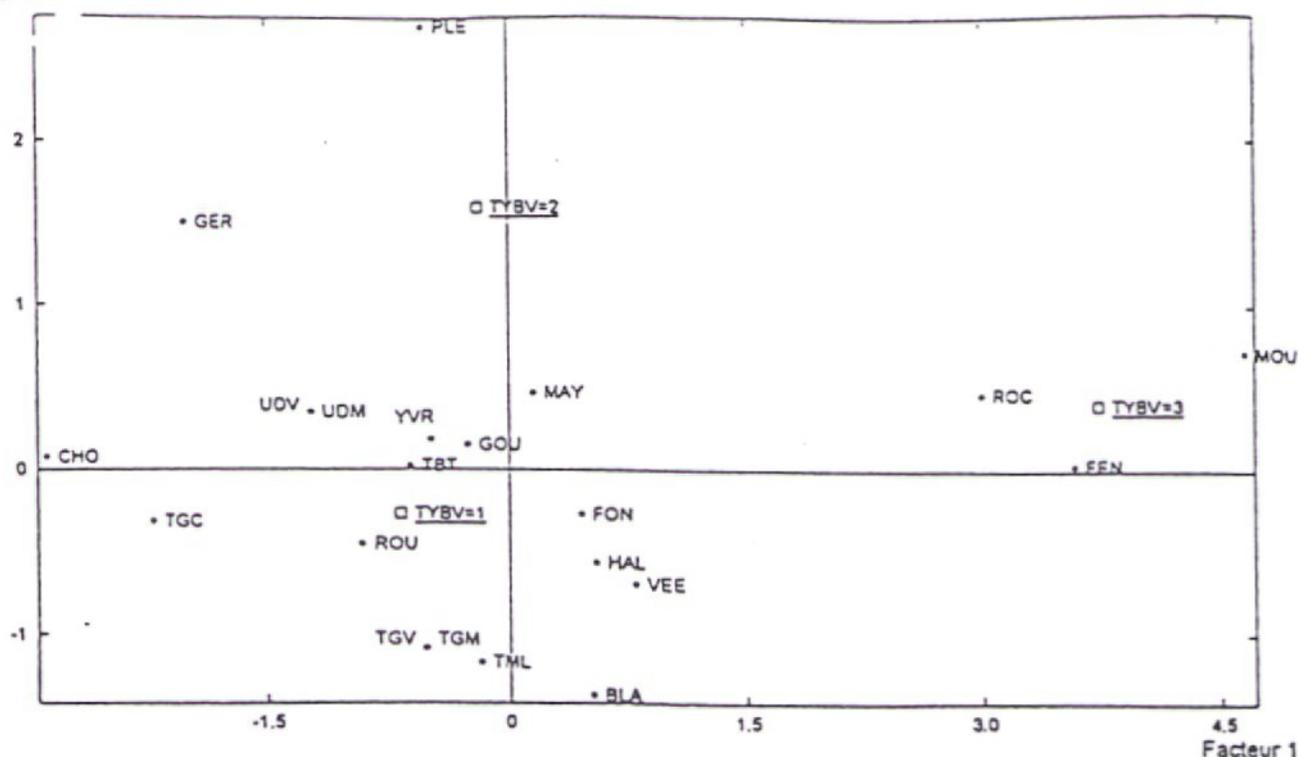


Figure 23 : Répartition des individus dans le plan factoriel F1 x F2 de l'A.C.P. Physico-chimie, et relations avec le type de bassin versant.

Signification des stations : BLA : Blandinière; CHO : Choisel; FEN : Fendrie; FON : Fontaine au Héron; GER : Gérard; GOU : Gourbe; HAL : Halouze; MAY : Mayenne; MOU : Mousse; PLE : Plesse; ROC : Roche-Elie; ROU : Rouvre; TBT : Tilleul au Bois du Triage; TGC : Tilleul au Gué Chartier; TGM : Tilleul au Grand Etinoux amont; TGV : Tilleul au Grand Etinoux aval; TML : Tilleul au Moulin Lassue; UDM : Udon amont; UDV : Udon aval; VEE : Vée; YVR : Yvrandes.

322 - Qualité physico-chimique de l'eau

Une A.C.P. suivie d'une C.A.H. a été réalisée en prenant comme variables actives les résultats moyens des 5 variables sur 7 campagnes, et en variable illustrative la surface du bassin versant (SUBV). Une variable modale est utilisée : le type de bassin versant (TYBV) avec 3 modalités (1 : agricole « intensif », 2 : « mixte », 3 : forestier).

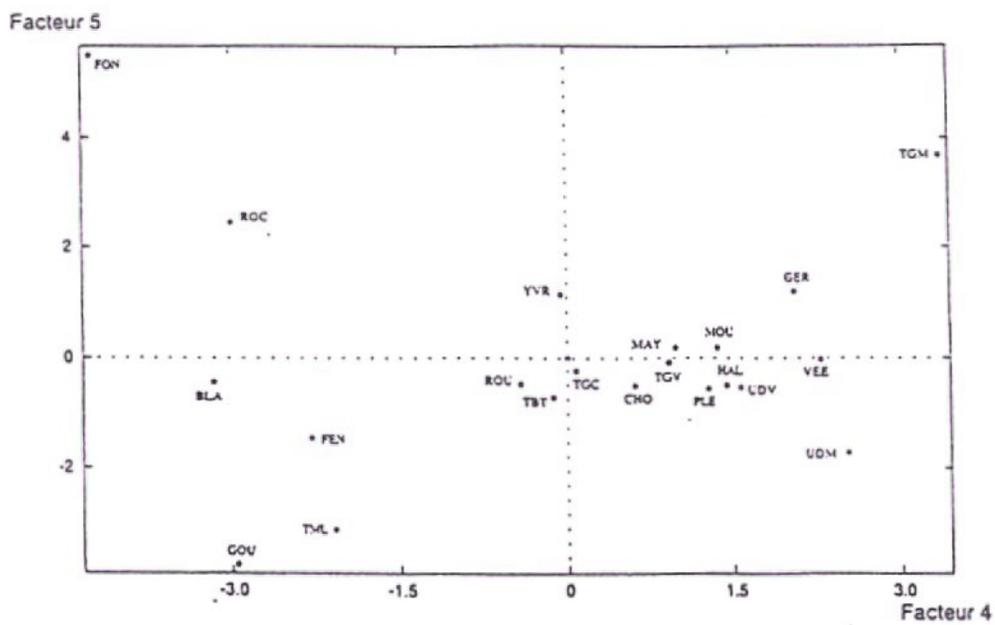
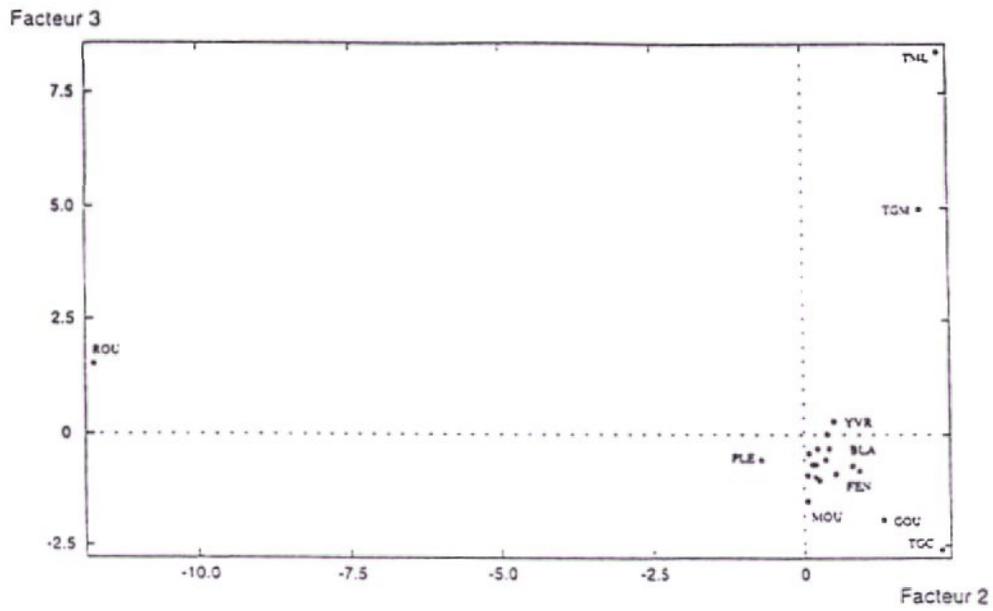
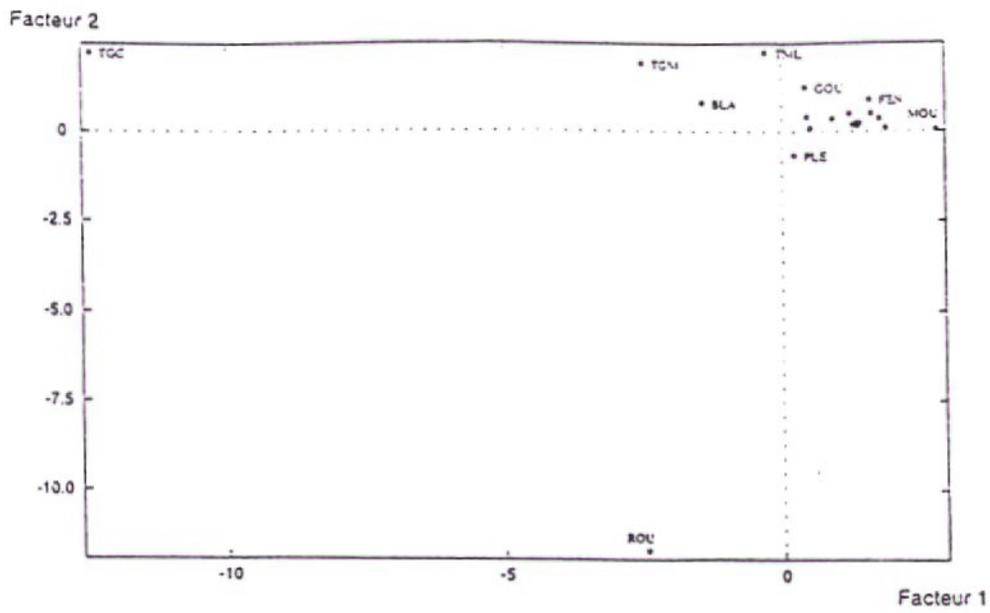
3221 - Résultats sur les variables

L'analyse fait apparaître une structure bi-dimensionnelle.

L'axe 1 traduit un effet taille, car toutes les variables sont situées sur sa partie négative (Figure 22). Cet axe extrait 65 % de l'inertie : toutes les variables sont corrélées à cet axe, avec des coefficients de corrélation supérieurs à 0,80 sauf pour les orthophosphates (0,64). Seuls ces orthophosphates sont corrélés à l'axe 2 (0,69).

3222 - Résultats sur les individus

Pour les individus (Figure 23), l'axe 1 oppose les stations forestières (type de bassin versant 3) aux bassins versants agricoles, avec comme type d'eaux chargées le Choisel. L'axe 2 fait ressortir 2 stations eutrophisées avec plus d'orthophosphates, la Plesse et le Gérard.



Figures 24 : Répartition des stations dans les plans factoriels F1 x F2, F2 x F3 et F4 x F5 de l'A.C.P. Macrophytes.

3223 - Résultats typologiques avec la C.A.H.

Trois classes apparaissent nettement :

- une classe de stations oligotrophes forestières, avec la Mousse, le Roche Elie et la Fendrie,
- une classe « moyenne » où aucun paramètre n'a de valeur très importante, avec la Blandinière, la Fontaine au Héron, la Gourbe, la Halouze, la Mayenne, la Rouvre, le Grand Etinoux amont et le Grand Etinoux aval, le Moulin Lassue et la Vée,
- une classe plus « polluée », avec des teneurs en ammonium et orthophosphates plus élevées (respectivement 0,07 et 0,05) que la moyenne des stations (respectivement 0,5 et 0,03 mg/l).

323 - Macrophytes

3231 - Les stations (Figures 24)

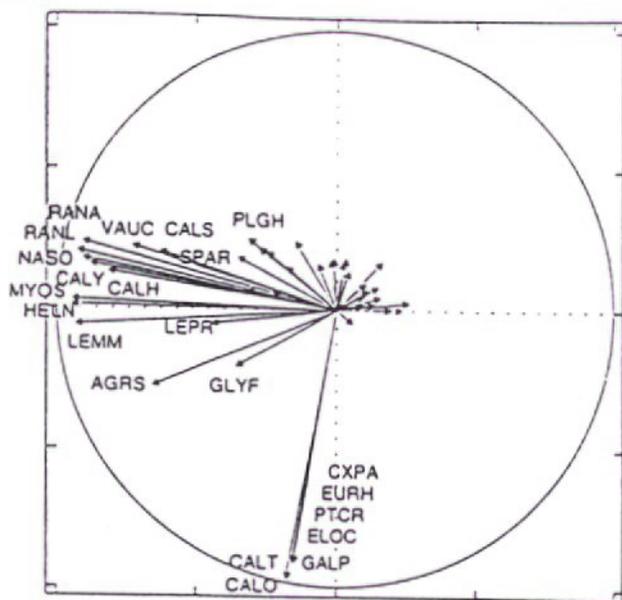
L'examen de l'histogramme des valeurs propres fait apparaître une rupture principale entre l'axe 3 et l'axe 4, puis une seconde rupture après le cinquième axe. Les trois premiers axes portent 44,12 % de l'inertie totale, et les 5 premiers 60,55 %.

On constate que le premier plan factoriel des individus est fortement influencé par deux stations, le Tilleul au Gué Chartier sur l'axe 1 (contribution de 78,0 %) ainsi que la Rouvre sur l'axe 2 (contribution de 88,2 %). Ces deux stations apparaissent très différentes des autres et gênent considérablement l'étude du reste des individus.

Le plan factoriel F2 x F3 fait ressortir comme caractéristiques de l'axe 3 deux autres stations du Tilleul, le Moulin Lassue (contribution de 60,0 % à l'inertie de cet axe) et le Grand Etinoux amont (21,0 %), qui sont opposées à des stations beaucoup moins contributives, la Gourbe (3,2 %) et le Gué Chartier (5,8 %).

Enfin, le plan factoriel F4 x F5 fait surtout ressortir les stations à fortes pentes, Blandinière (contribution de 10,7 % à l'inertie de F4), Fontaine au Héron (19,5 % sur F4 et 36,1 % sur F5), Gourbe (9,4 % de F4; 36,1 % de F5), le Grand Etinoux amont (12,2 % sur F4; 15,9 % sur F5) et le Moulin Lassue (11,7 % sur F5).

Facteur 2



Facteur 1

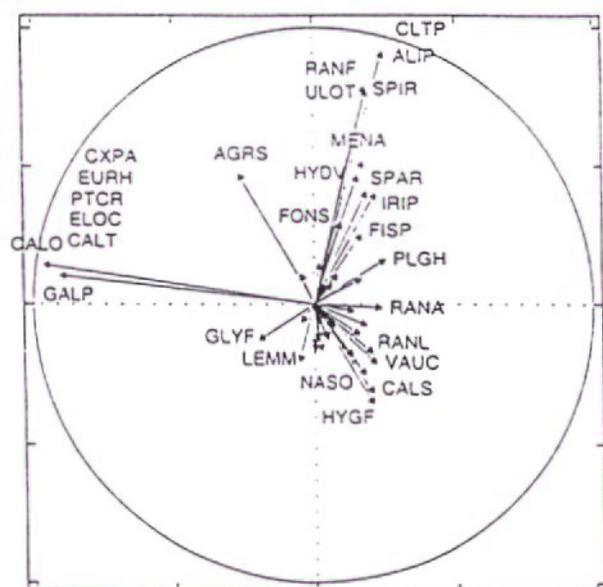
Facteur 2



Facteur 1

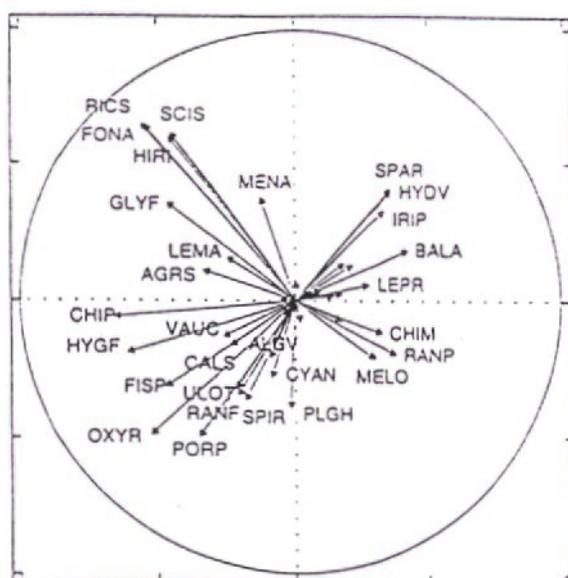
Figures 25A : Répartition des variables actives et illustratives dans le plan factoriel F1 x F2 de l'A.C.P. Macrophytes.

Facteur 3



Facteur 2

Facteur 5



Facteur 4

Figures 25B : Répartition des variables actives dans les plans factoriel F2 x F3 et F4 x F5 de l'A.C.P. Macrophytes.

3232 - Les variables macrophytes (Figures 25 A et B)

Myosotis scorpioides, *Nasturtium officinale*, *Agrostis stolonifera*, *Helosciadium nodiflorum*, *Callitriche platycarpa*, *Ranunculus peltatus*, *Callitriche stagnalis*, *Callitriche hamulata*, *Vaucheria sp* et *Lemna minor* montrent une forte corrélation au facteur 1 (entre 0,63 et 0,94). De même, *Callitriche obtusangula*, *Callitriche truncata*, *Elodea canadensis* et *Potamogeton crispus* sont fortement corrélés à l'axe 2 (0,96).

Ces quatre derniers taxons ne sont retrouvés que sur la Rouvre et leur rareté est responsable de la forte contribution de cette station à l'axe 2 de l'ACP. Indicateurs de milieu eutrophisé, ils proviennent d'une retenue d'eau récemment vidangée, située sur le cours principal en amont de la station.

La projection des variables illustratives du milieu physique dans ce premier plan factoriel fait apparaître un premier facteur correspondant à de forts éclaircissements et à beaucoup de sables, ce qui correspond au secteur recalibré du Gué Chartier. L'importance des limons ou des graviers semble plutôt caractéristiques du facteur 2.

Le facteur 3 est caractérisé par des espèces essentiellement représentées sur le Moulin Lassue et le Grand Etinoux amont : *Caltha palustris* et *Alisma plantago-aquatica* (corrélation variable-facteur de 0,92), *Ranunculus flammula*, *Ulothrix sp.* et *Spirogyra sp.* (0,79). Ces variables s'opposent à *Hygroamblystegium fluviatile* (-0,35) et *Callitriche stagnalis* (-0,31).

Les variables mésologiques illustratives correspondant à ce facteur 3 sont essentiellement le taux de boisement, les racines et débris végétaux, mais aussi le colmatage.

Les facteurs 4 et 5 sont moins nettement caractérisés par les macrophytes (corrélation maximale de 0,66).

Le facteur 4 est surtout caractérisé par des bryophytes (*Chiloscyphus polyanthus*, *Fissidens pusillus*, *Hygroamblystegium fluviatile*, *Oxyrrhynchium rusciforme*, *Riccardia sinuata*) et quelques héliophytes (*Glyceria fluitans* et *Scirpus sylvaticus*), qui s'opposent à *Baldingera arundinacea*. Les variables illustratives du facteur 4 sont les variables d'écoulement turbulent ou friselis, associées au nombre de faciès d'écoulement par 100 m linéaires et aux blocs, qui s'opposent aux argiles et limons et à l'écoulement lisse. Le facteur 5 est surtout caractérisé par *Fontinalis antipyretica*, *R. sinuata*, *Hildembrandia rivularis* et *Scirpus sylvaticus*, espèces plutôt lénitophiles, qui s'opposent aux rhéophiles *C. polyanthus* et *F. antipyretica*.

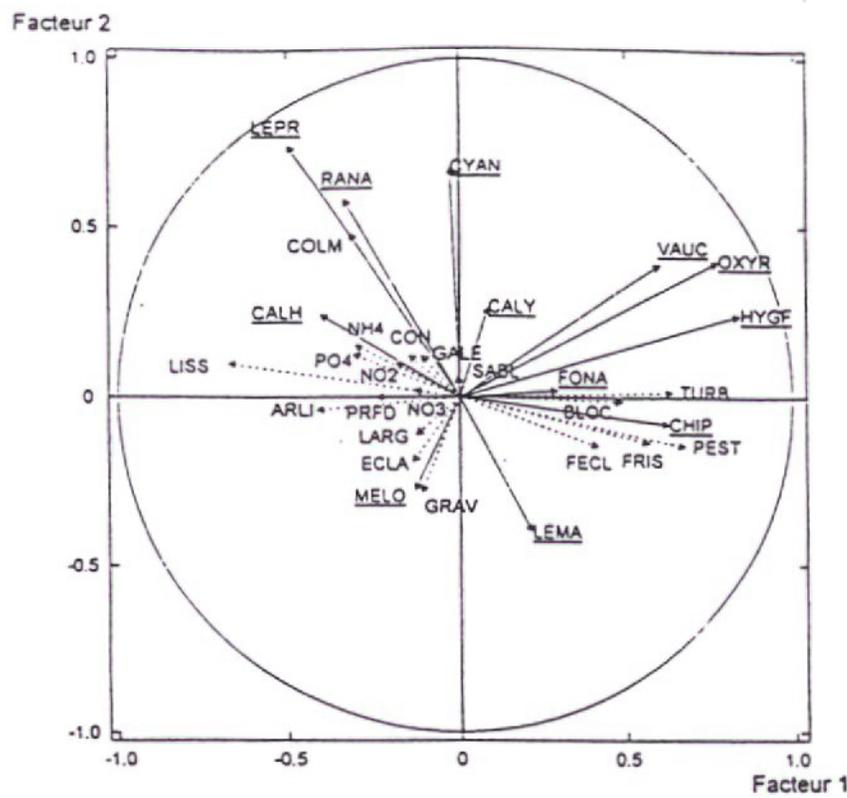


Figure 26 : Répartition des variables dans le plan factoriel F1 x F2 de la seconde A.C.P. Macrophytes, excluant les espèces peu représentées, et le Tilleul au Gué Chartier.

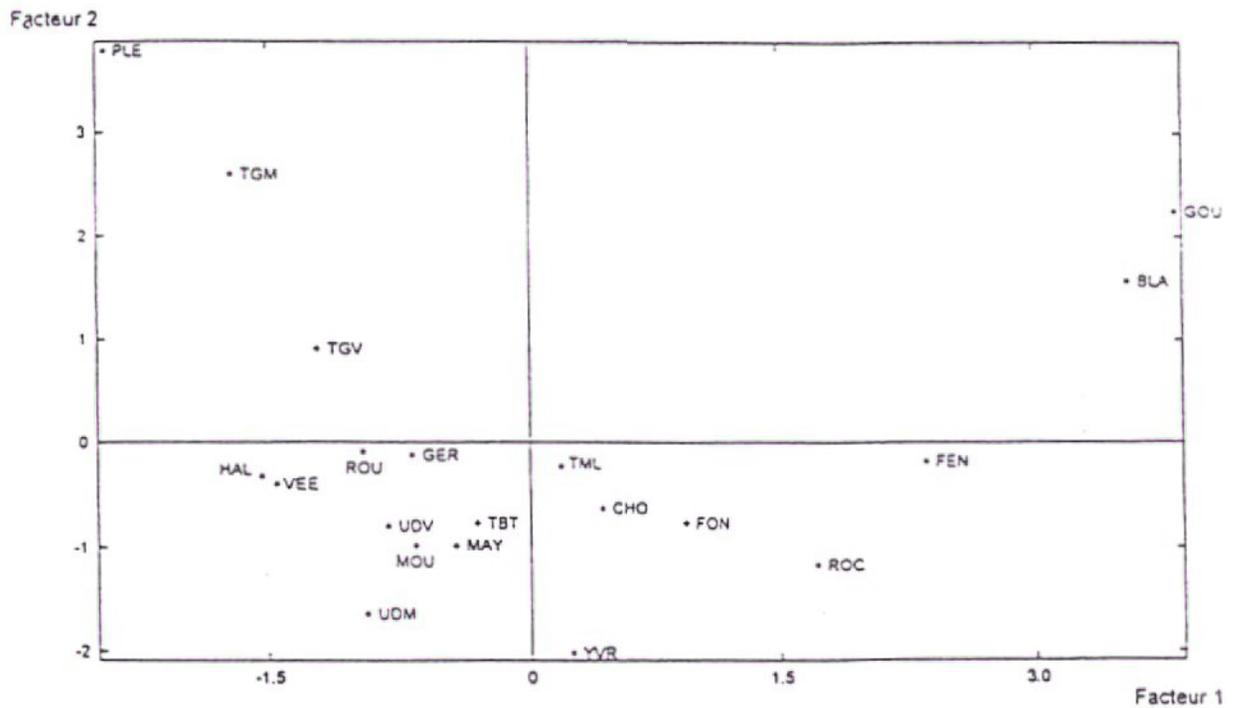


Figure 27 : Répartition des stations dans le plan factoriel F1 x F2 de la seconde A.C.P. Macrophytes.

Le Tilleul au Gué Chartier, individu supplémentaire, n'est pas représenté.

La particularité du Tilleul au Gué Chartier réside d'une part dans la présence de deux espèces très peu représentées par ailleurs sur le reste des stations de l'Observatoire, *Callitriche stagnalis* et *Lemna minor* (*L. minor* n'apparaît ailleurs que sur la Rouvre) et d'autre part dans les taux de recouvrement particulièrement élevés de *C. platycarpa*, *R. peltatus* et *Vaucheria sp.*, ce qu'on peut mettre en relation avec les caractéristiques mésologiques de cette station : fort éclaircissement, granulométrie fine, écoulement lent en relation avec une pente faible et largeur importante, résultats d'un recalibrage ancien.

3233 - Typologie « normale » des stations

Une nouvelle ACP est donc réalisée en portant le Tilleul au Gué Chartier en individu illustratif et en ne conservant que les taxons de fréquence absolue supérieure à 4. De plus, les variables mésologiques et de qualité de l'eau sont introduites dans l'analyse en tant que variables illustratives de façon à mettre en perspective la distribution des macrophytes et les caractéristiques physico-chimiques du milieu.

La structure est à nouveau bi-dimensionnelle, les axes 1 et 2 cumulant 40,71 % de l'inertie totale.

Les variables (Figure 26) :

L'axe 1 oppose *Leptodictyum riparium*, *Ranunculus peltatus* et *Callitriche hamulata* associés à un écoulement de type lisse, à *Oxyrrhynchium rusciforme*, *Vaucheria sp.*, *Chiloscyphus polyanthus* et *Hygroamblystegium fluviatile* associés à un écoulement plus turbulent. L'axe 1 est donc déterminé par des taxons dont la répartition est relative aux caractéristiques d'écoulement des cours d'eau.

L'axe 2 oppose *Leptodictyum riparium*, espèce indicatrice de pollution organique, *Ranunculus peltatus* ainsi que les cyanophycées, à *Lemanea sp.* algue rouge d'eau courante (RODRIGUEZ & VERGON 1996), *Melosira sp.* et *Chiloscyphus polyanthus*, bryophyte indicatrice d'eaux acides oligo-mésotrophes. La répartition des macrophytes le long de cet axe se fait semble-t-il en fonction d'un gradient de qualité d'eau. La description de cet axe par les variables mésologiques met en évidence le colmatage associé à *Leptodictyum riparium* et *Ranunculus peltatus*.

Les individus (Figure 27) et interprétation avec les macrophytes

L'axe 1 est défini dans sa partie négative, par les stations de la Plesse (contribution de 10,9 %), du Tilleul au Grand Etinoux amont (5,3 %), de la Halouze (4,3%) et de la Vée (3,8 %). *Ranunculus peltatus* constitue une espèce caractéristique de la Plesse (où son pourcentage de recouvrement atteint 5 %) et des stations du Tilleul, au Grand Etinoux en particulier (20 % de recouvrement à l'amont et 5 % à l'aval; contre une moyenne de 3,4 %

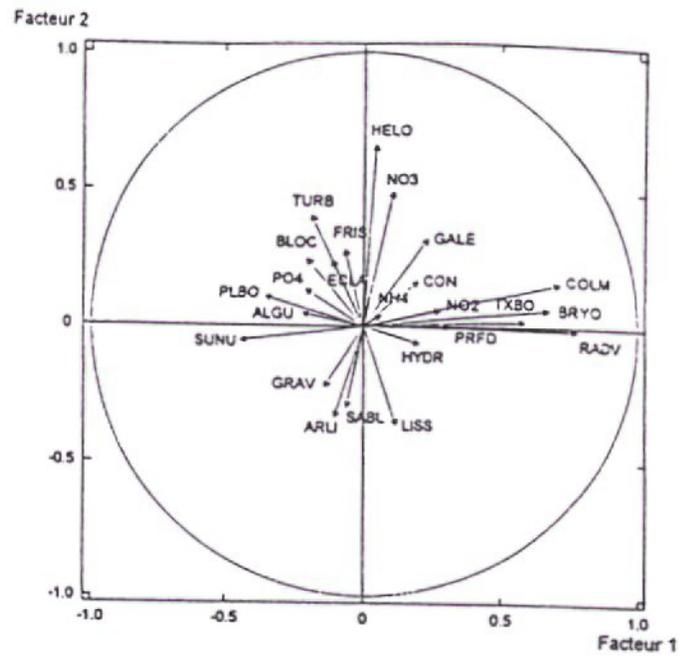
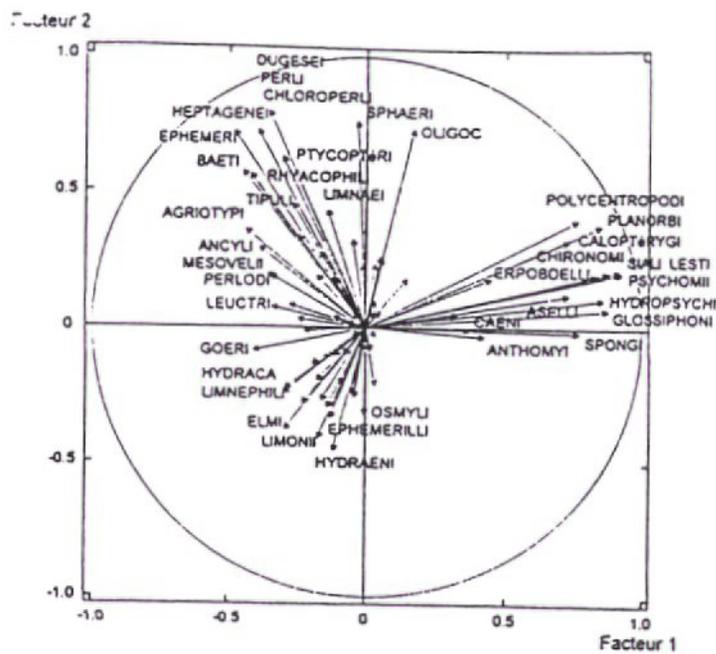


Figure 28A : Répartition des variables actives et illustratives dans le plan factoriel F1 x F2 de l'A. C. P. Invertébrés tous taxons.

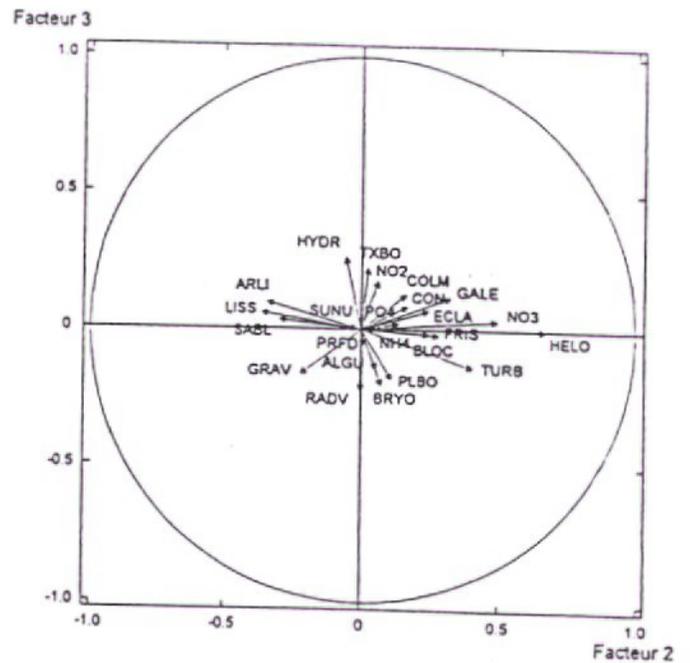
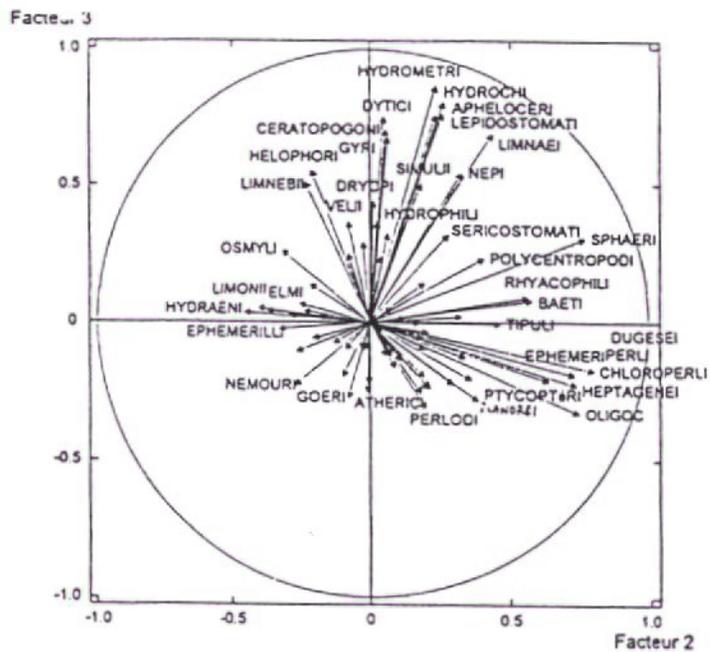


Figure 28B : Répartition des variables actives et illustratives dans le plan factoriel F2 x F3 de l'A. C. P. Invertébrés tous taxons.

sur l'ensemble des stations), stations présentant un colmatage important. *Leptodictyum riparium* présente une répartition similaire (10 % de recouvrement sur la Plesse, 5 % au Grand Etinoux pour une moyenne générale de 1,4 %).

La partie positive de l'axe 1 comprend les stations de la Gourbe (26,2 %) et de la Blandinière (22,6 %), où *Oxyrrhynchium rusciforme* (recouvrement de 5 % sur la Blandinière, de 10 % sur la Gourbe, pour une moyenne générale de 1,2 %), *Hygroamblystegium fluviatile* (respectivement 1 %, 2 % pour 0,3 %) et *Vaucheria* sp (15 %, 5 % pour 1,9 %) sont particulièrement bien représentés. Les stations du Roche-Elie et surtout de la Fendrie contribuent respectivement à 5,3 et 10,1 % de l'inertie totale. Ces deux stations à écoulement plutôt turbulent, sont liées à *Chiloscyphus polyanthus*.

L'axe 2 est caractérisé en grande partie par la Plesse (contribution de 34,2 %) dans sa partie positive, et par l'Yvrandes (contribution de 9,7 %) dans sa partie négative. Cette dernière station se distingue par un fort recouvrement (5 % pour une moyenne de 0,5 %) de l'algue rouge *Lemanea* sp.

En conclusion, les peuplements macrophytiques peuvent être très différents d'une station à l'autre. Le premier facteur semble être lié au colmatage et aux conditions d'écoulement. Le second facteur correspond plutôt à la qualité de l'eau.

324 - Invertébrés benthiques

L'étude multidimensionnelle du peuplement des Invertébrés benthiques a été réalisée en deux étapes :

- en ne prenant pas en compte un niveau taxonomique précis, avec tous les taxons des I.B.G.N. en utilisant les variables mésologiques et physico-chimiques comme illustratives,
- puis en prenant en compte les taxons (familles) répertoriés dans les différents cours d'eau; ne sont retenus pour cette seconde étape que ceux dont la fréquence absolue est supérieure ou égale à 4.

3241 - Résultats sur les variables, tous taxons (Figure 28)

L'examen de l'histogramme des valeurs propres incite à étudier les deux premiers plans factoriels, puisque les trois premiers facteurs cumulent 37 % de l'inertie totale.

L'axe 1 :

La partie négative de l'axe est caractérisée par les Ephemeroptères Ephemeraeidae, Baetidae et Heptageneidae, par les Agriotypidae, les Rhyacophilidae, les Goeridae et les Ancylidae. Ces trois derniers taxons ont une tendance rhéophile marquée et une affinité pour les substrats minéraux grossiers. Baetidae et Heptageneidae sont également généralement rencontrés sur des substrats constitués de cailloux et de galets. La variable illustrative principale de cette partie de l'axe est d'ailleurs la variable SUNU (sols nus). De plus, Goeridae et Heptageneidae sont classiquement rencontrés sur les stations relativement préservées concernant la qualité de l'eau (BEISEL, 1996).

La partie positive de l'axe est marquée par les Gastéropodes Planorbidae, par les Psychomiidae, les Lestidae. La présence des Hydropsychidae, et surtout des Sialidae, des Chironomidae et des Achètes Glossiphonidae et Erpobdellidae est révélatrice d'un milieu riche en matières organiques. Les variables illustrant cette partie de l'axe sont la présence de racines et débris végétaux (RADV) liée à un taux de boisement important (TXBO), le colmatage (COLM) et les bryophytes (BRYO). Les débris végétaux constituent en particulier le régime alimentaire des Hydropsychidae et les racines immergées de la ripisylve constituent un habitat adapté à leurs exigences écologiques, ainsi qu'à celle des Psychomiidae. Le colmatage important est propice à la présence des Sialidae qui trouvent d'autre part une nourriture abondante avec la présence importante des Chironomidae qui en constituent une proie privilégiée. Enfin, les bryophytes constituent, selon BEISEL (1996), les supports qui comptent le plus de taxons différents, avec des densités d'invertébrés très importantes. Les Chironomidae, en particulier, en seraient un taxon caractéristique. Les bryophytes, peu importantes en elles-mêmes sur le plan nutritif, constituent un milieu stable, offrant une grande variété de niches écologiques et des potentialités trophiques importantes en constituant une surface de développement au périphyton (d'où la présence des Planorbidae) et d'accumulation de débris organiques.

L'axe 2 :

La partie négative de cet axe est caractérisée par les Hydraenidae, les Limoniidae, les Elmidae, les Ephemerellidae, les Osmylidae, les Helodidae et les Nemouridae. La présence de ce dernier taxon indique une qualité physico-chimique de l'eau satisfaisante. Les variables illustrant cette partie de l'axe indiquent un type d'écoulement calme (LISS) en relation avec une granulométrie fine à moyenne (argiles et limons, sables, graviers). Le substrat privilégié de ces différents taxons couvrent en effet cette gamme granulométrique (TACHET *et al.*, 1980).

La partie positive de l'axe est caractérisé par les Ephemeraeidae, les Heptageneidae, les Oligochètes, les Sphaeridae, les Plécoptères Perlidae et Chloroperlidae, très sensibles à la qualité physico-chimique de l'eau, et les Dugeseidae, ces trois derniers taxons étant

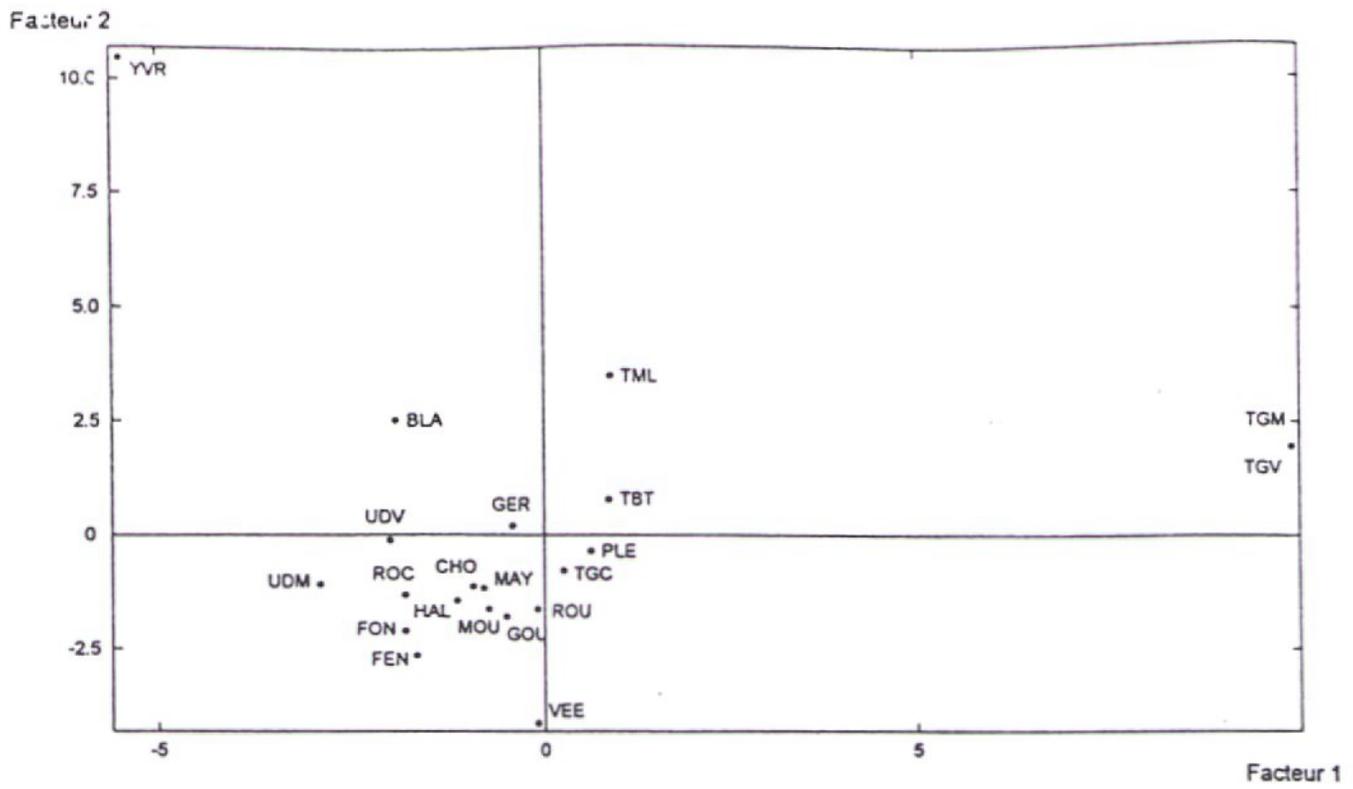


Figure 29A : Répartition des stations dans le plan factoriel F1 x F2 de l'A.C.P.
Invertébrés tous taxons.

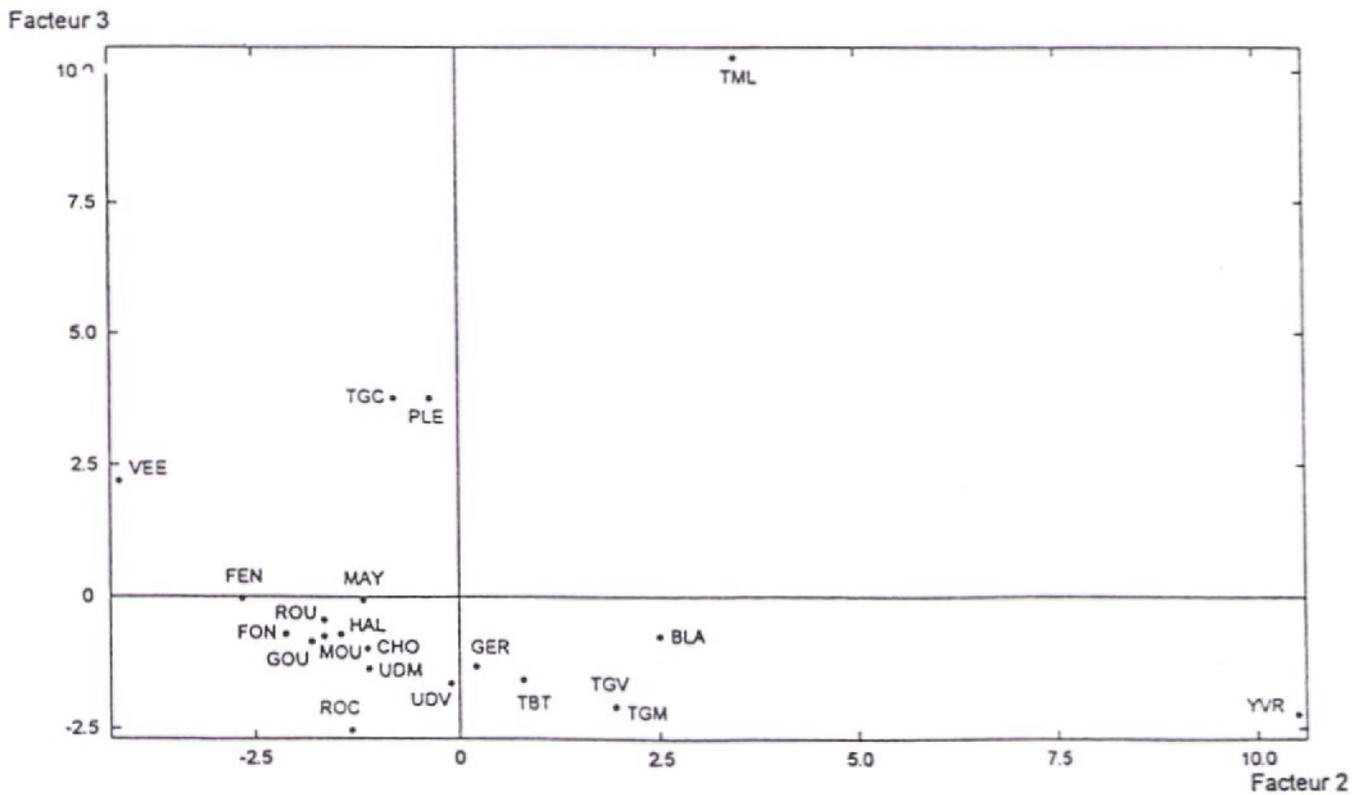


Figure 29B : Répartition des stations dans le plan factoriel F2 x F3 de l'A.C.P.
Invertébrés tous taxons.

uniquement rencontrés sur l'Yvrandes. Les variables illustratives sont relatives en partie au type d'écoulement, turbulent en l'occurrence (TURB), en relation avec une granulométrie grossière (galets et blocs) mais essentiellement à un paramètre physico-chimique de l'eau, la teneur en nitrates et à une catégorie de macrophytes, les hélrophytes. En dehors des Perlidae, des Chloroperlidae et des Heptageneidae, ce type de granulométrie ne correspond pas au *preferendum* des autres taxons plutôt inféodés aux substrats fins, en particulier pour les Oligochètes, les Sphaeridae et les Dugeseidae. Par ailleurs, BEISEL (1996) considère que les hélrophytes ne constituent pas un milieu particulièrement favorable aux invertébrés benthiques, à la différence des hydrophytes et des bryophytes.

L'axe 3 :

La partie négative de l'axe est caractérisée par les Sialidae, les Leptoceridae, les Athericidae, les Goeridae, les Planorbidae, les Perlodidae et les Oligochètes. Les principales variables illustratives sont les racines et débris végétaux (RADV) et les bryophytes (BRYO). La présence des Goeridés et surtout des Plécoptères Perlodidae est un indice d'une bonne qualité d'eau, mais cette indication est tempérée par l'abondance des Sialidae et des Oligochètes, révélateurs d'eaux chargées en matières organiques.

La partie positive de l'axe est caractérisée principalement par les Lymnaeidae, les Ceratopogonidae, les Dyticidae, les Lepidostomatidae, les Apheloceridae, les Hydrochidae et les Hydrometridae. Les principales variables illustratives sont le taux de boisement (TXBO) et les hydrophytes (HYDR). En dehors des Ceratopogonidae qui sont inféodés aux sables et graviers et se nourrissent de débris de microinvertébrés, tous les autres taxons mentionnés dépendent des macrophytes, en l'occurrence des hydrophytes, comme substrat ou comme source de nourriture ou pour les deux comme c'est le cas en particulier des Gastéropodes Lymnaeidae.

3242 - Résultats sur les individus, tous taxons (Figure 29)

L'axe 1 oppose les deux stations du Tilleul au Grand Etinoux (contribution de 38 %) à l'Yvrande (11,7).

Le deuxième axe oppose principalement la Vée (contribution de 9,4 %) à l'Yvrande (60,3 %).

Le troisième axe est principalement influencé par le Tilleul au Moulin Lassue (contribution de 61,6 %) et dans une moindre mesure par la Plesse (8,3 %) et le Tilleul au Gué Chartier (8,2 %).

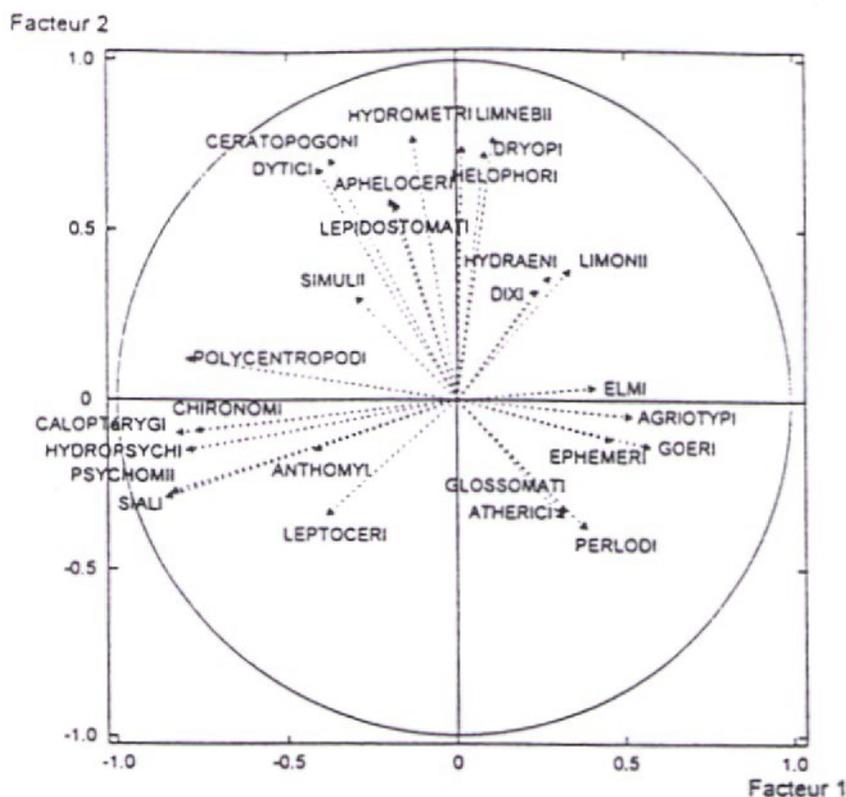


Figure 30 : Répartition des variables actives dans le plan factoriel F1 x F2 de l'A.C.P.
Invertébrés bien représentés.

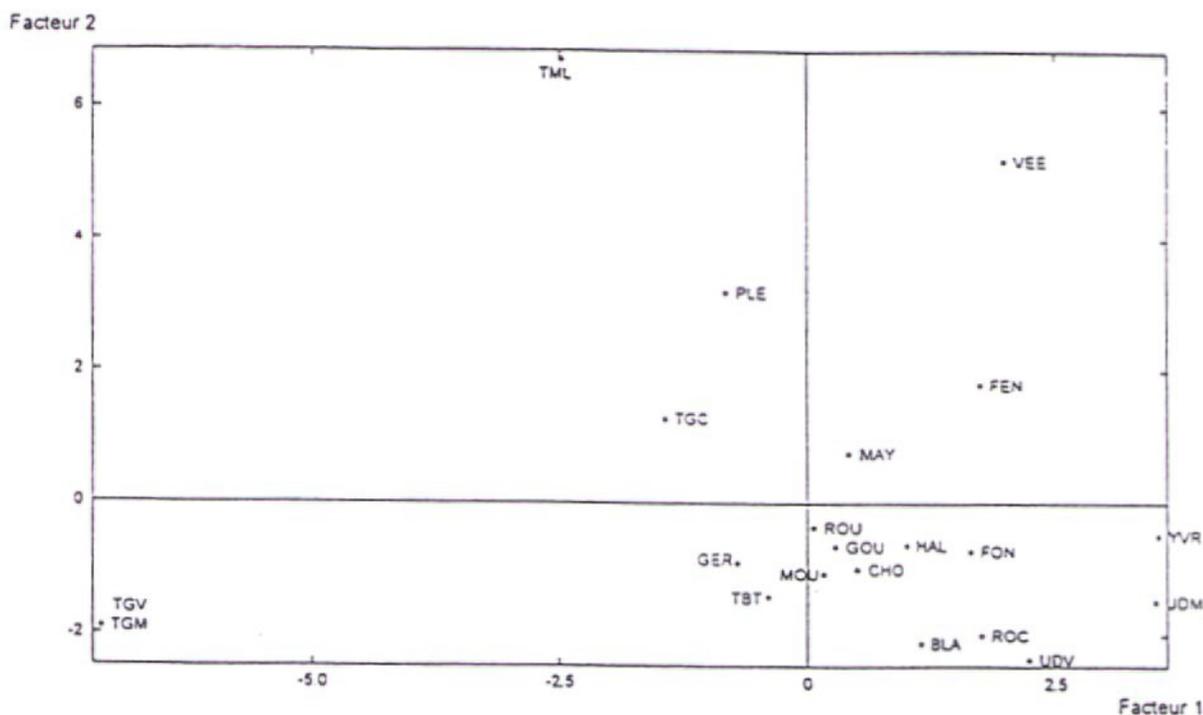


Figure 31 : Répartition des stations dans le plan factoriel F1 x F2 de l'A.C.P.
Invertébrés bien représentés.

Signification des stations : BLA : Blandinière; CHO : Choisel; FEN : Fendrie; FON : Fontaine au Héron; GER : Gérard; GOU : Gourbe; HAL : Halouze; MAY : Mayenne; MOU : Mousse; PLE : Plesse; ROC : Roche-Elie; ROU : Rouvre; TBT : Tilleul au Bois du Triage; TGC : Tilleul au Gué Chartier; TGM : Tilleul au Grand Etinoux amont; TGV : Tilleul au Grand Etinoux aval; TML : Tilleul au Moulin Lassue; UDM : Udon amont; UDV : Udon aval; VEE : Vée; YVR : Yvrandes.

3243 - Résultats sur les variables, sélection des taxons à la famille (Figure 30)

La structure traduite par l'histogramme des valeurs propres est essentiellement bi-dimensionnelle.

L'axe 1 oppose les Sialidae, Psychomiidae, Chironomidae et les Polycentropodidae aux Elmidae, Epheméridae, Agriotypidae et Goeridae. L'interprétation de la signification de cet axe par l'étude des taxons représentatifs ne paraît pas évidente. Les taxons faisant partie d'un groupe indicateur pour le calcul d'IBGN, les Psychomiidae (Gr 4), Chironomidae (Gr 1), les Polycentropodidae (Gr 4) d'un côté, les Elmidae (Gr2), les Epheméridae (Gr6) et les Goeridae (Gr7) de l'autre laissent cependant supposer que cet axe pourrait décrire un gradient de qualité d'eau et d'enrichissement en matières organiques.

L'axe 2 oppose les Perlodidae (Gr9), les Athericidae, les Leptoceridae (Gr4) et les Glossomatidae (Gr7) à des taxons n'apparaissant pas dans les différents groupes indicateurs. La présence des Perlodidae appartenant au groupe indicateur le plus élevé, et correspondant à des taxons rhéophiles laisse penser que cet axe pourrait être également un axe de qualité, mais plutôt lié à l'habitat physique. L'interprétation paraît donc délicate.

Compte tenu des bonnes notes obtenues par l'ensemble des stations, par le calcul de l'IBGN, aucun gradient très net de qualité d'eau n'apparaît, ce qui est logique dans des stations assez courantes où la désoxygénation est très limitée. Les traits de vie des invertébrés, dans leur préférence alimentaire ou de type d'habitat seraient à prendre en considération pour comprendre l'organisation des peuplements. Cependant le niveau taxonomique choisi ici paraît peu pertinent pour une telle analyse. Il est néanmoins tenté ultérieurement.

3244 - Résultats sur les individus (Figures 31)

L'axe1 est essentiellement représenté par le Tilleul au Grand Etinoux (TGM et TGV) (contribution sur l'axe : 32,3 % ; note IBGN 16) qui s'oppose à l'Udon amont (contribution 8 % ; note 17) et à l'Yvrandes (8,2 %, note 20). Au vu de la qualité de l'eau de ces stations, le gradient d'eutrophisation supposé lors de l'examen des variables semble confirmé.

L'axe 2 est essentiellement représenté par le Tilleul au Moulin Lassue (38,5 % de contribution et note 19), la Vée (22,8 % et note 18) et dans une moindre mesure la Plesse (8,6 %, note 19). Ces stations s'opposent sur cet axe au Roche-Elie (3,3 %, note 16), à la Blandinière (3,8 %, note 20) et à l'Udon aval (4,7 %, note 16). L'hypothèse d'axe de milieu physique ne semble pas étayée, et des analyses complémentaires devront être réalisées.

325 - Poissons

3251 - Typologie des variables (Figure 32)

Dans l'A.C.P. portant sur toutes les densités de poissons, les paramètres mésologiques apparaissent en tant que variables illustratives, de même que deux variables nominales à deux modalités, ETAN (présence-1 ou absence-0 d'étangs sur le cours principal) et RECAL (recalibrage-1 ou non-0 du cours d'eau dans le passé).

Le premier axe porte près de 26 % de l'inertie. Les valeurs propres suivantes, plus faibles, montrent une décroissance régulière révélatrice de données peu structurées, c'est à dire de variables peu corrélées entre elles. Seul le premier plan factoriel est analysé.

L'axe1 oppose les gardons, chevesnes, perches et carpes communes avec des coefficients de corrélations variable-facteur élevés (respectivement 0,96, 0,95, 0,91 et 0,84) associés à des cours d'eau profonds, larges et colmatés, aux truites essentiellement, mais avec un coefficient de corrélation très moyen (0,46), associées à un nombre élevé de faciès d'écoulement. Cet axe 1 est donc représentatif de la répartition des poissons en fonction du **gabarit des cours d'eau**.

L'axe2 est essentiellement constitué par les tanches (0,79) et les rotengles (0,79) en relation avec des variables mésologiques de cours d'eau à écoulement de type friselis voire turbulent et à granulométrie grossière. A l'opposé on trouve les loches (0,50), les lamproies de Planer (0,51) et les vairons (0,42) associés à un écoulement plus calme et à une granulométrie plus fine. Cet axe 2 correspond donc à la répartition des poissons en relation avec la **granulométrie et le type d'écoulement des cours d'eau**.

Les deux premiers axes factoriels sont donc essentiellement constitués par des cyprinidés d'eau calme (gardon, tanche et rotengle) ou d'eau vive (chevesne) et de carnassiers (perche), autant d'espèces atypiques de ce type de cours d'eau, ce qui met en évidence **l'influence prépondérante des étangs dans la constitution du peuplement pisciaire**.

3252 - Typologie des individus (Figure 33)

L'impact des étangs est clairement mis en évidence par l'influence des stations du Tilleul (à l'exception du Bois du Triage préservé de l'influence d'étang) et de la Gourbe dans l'établissement des axes factoriels. Ainsi, le Tilleul au Grand Etinoux amont contribue pour 62 % à l'axe 1 en raison de la présence d'une espèce faiblement représentée, la Carpe

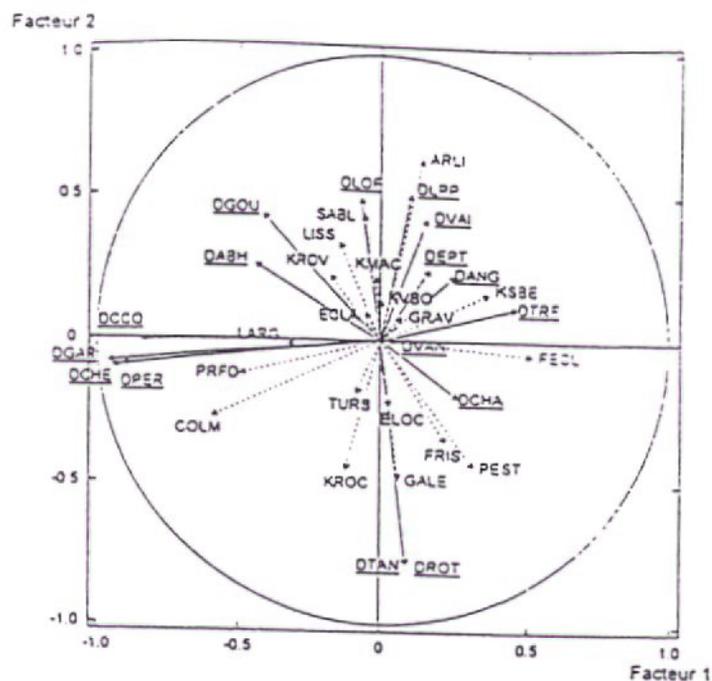


Figure 32 : Répartition des variables dans le plan factoriel F1 x F2 de l'A.C.P. Poissons. Les variables météorologiques sont traitées en variables illustratives. Les densités de poissons, variables actives, sont soulignées.

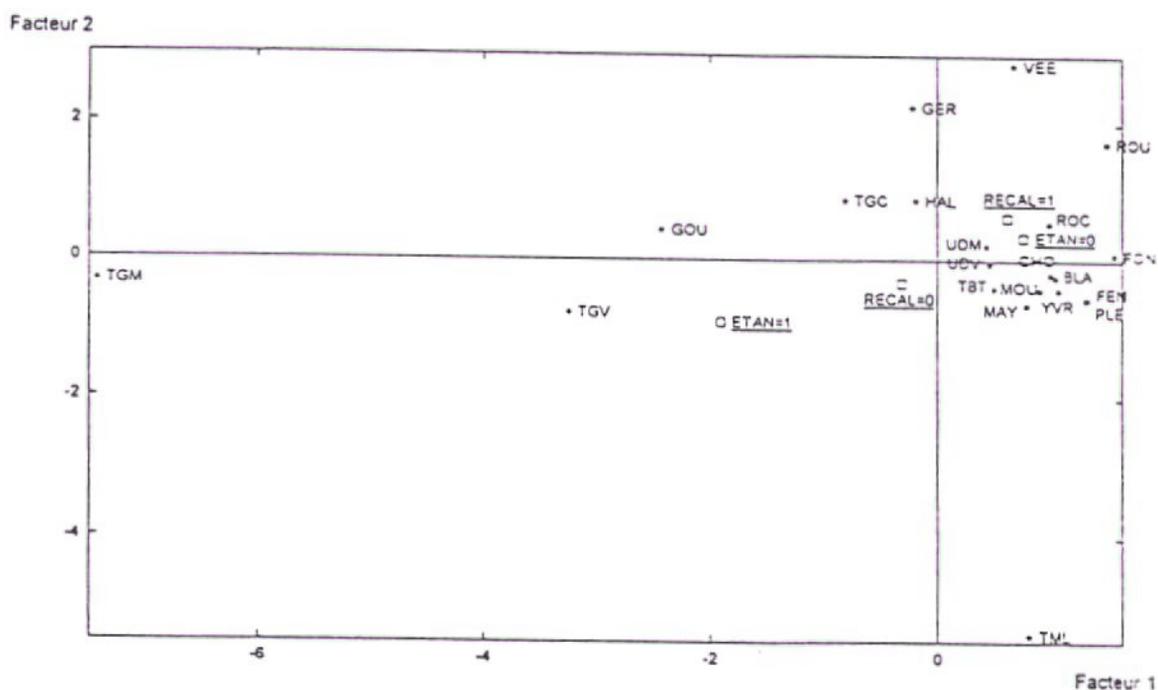


Figure 33 : Répartition des stations dans le plan factoriel F1 x F2 de l'A.C.P. Poissons, et position des variables modales « étangs » (présence 1, absence 0) et « recalibrage » (présence 1, absence 0).

Signification des stations : BLA : Blandinière; CHO : Choisel; FEN : Fendrie; FON : Fontaine au Héron; GER : Gérard; GOU : Gourbe; HAL : Halouze; MAY : Mayenne; MOU : Mousse; PLE : Plesse; ROC : Roche-Elie; ROU : Rouvre; TBT : Tilleul au Bois du Triage; TGC : Tilleul au Gué Chartier; TGM : Tilleul au Grand Etinoux amont; TGV : Tilleul au Grand Etinoux aval; TML : Tilleul au Moulin Lassue; UDM : Udon amont; UDV : Udon aval; VEE : Vée; YVR : Yvrandes.

commune qu'on ne retrouve par ailleurs que sur la Gourbe, et de la forte densité de gardons, de chevesnes et de perches, ces dernières espèces étant également fortement représentées sur la station Grand Etinoux aval (contribution à l'axe : 12 %). La Gourbe (contribution 6,8 %), outre la présence de la Carpe commune, possède la plus forte densité de Loche franche.

L'axe 2 oppose le Tilleul au Moulin Lassue (contribution à l'axe de près de 59 %) seule station où l'on note la présence de tanches et de rotengles, à la Vée (contribution 16,4 %) et au Gérard (contribution 10 %), ces deux stations se singularisant par une forte densité de Lamproie de Planer.

3253 - Typologie du cortège pisciaire « représentatif » (Figure 34)

La présence d'espèces atypiques et faiblement représentées dans certaines stations influe très sensiblement sur l'établissement des axes factoriels et gêne ainsi l'ensemble de l'étude qui vise à déterminer les structures « dominantes » du peuplement pisciaire. Dans l'A.C.P. du cortège pisciaire « représentatif », les vandoises, ables de Heckel, anguilles, carpes, rotengles, tanches et épinochettes sont éliminés car peu représentés dans l'échantillon.

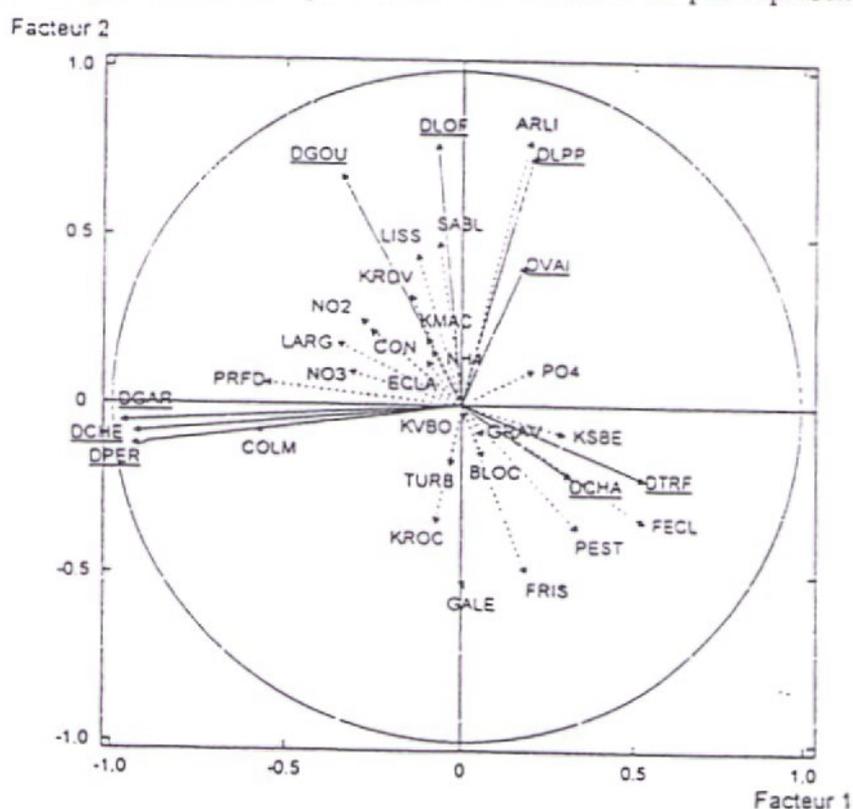


Figure 34 : Plan factoriel F1 x F2 des variables de la seconde ACP sur les Poissons, excluant les espèces peu représentées : Able de Heckel, Vandoise, Anguille, Vandoise, Carpe, Rotengle et Epinochette. Les densités de poissons, variables actives, sont soulignées. Les variables mésologiques sont traitées en variables illustratives.

L'examen de l'histogramme des valeurs propres révèle une structure bidimensionnelle. Les deux premiers axes cumulent plus de 58 % de l'inertie. Seul le premier plan factoriel est donc retenu pour l'analyse. L'examen du plan factoriel des variables (**Figure 34**) permet d'affiner les relations entrevues dans la première ACP.

L'axe 1 oppose les gardons, les chevesnes et les perches représentatifs de cours d'eau de gabarit important associé à un fort colmatage, aux truites et aux chabots présentant une nette affinité pour des cours d'eau de moindres dimensions, peu colmatés, à forte pente et écoulement de type "friselis", avec une forte densité linéaire de faciès d'écoulement. Les variables illustratives de qualité d'eau montrent que les cours d'eau présentant les plus fortes densités de truites et de chabots bénéficient d'une meilleure qualité d'eau. Par ailleurs, les truites semblent favorisées par les caches en sous-berge.

L'axe 2 est caractérisé par les lamproies de Planer étroitement corrélées avec les substrats constitués d'argiles et de limons, et par les loches et les vairons. Ces trois espèces qui appartiennent au cortège habituel d'accompagnement de la truite semblent plutôt inféodées à des milieux à granulométrie fine et écoulement de type lisse : il semble donc y avoir une différenciation pour le cortège de la Truite entre stations lentes et stations courantes, ce qui devrait encore plus nettement apparaître au niveau des faciès d'écoulement.

33 - Analyse multi-compartiments par A.F.M.

Deux analyses ont été successivement réalisées :

- en prenant en considération l'intégralité des variables, ce qui permet d'avoir une vue assez générale, mais risque de survaloriser les cas particuliers et les taxons rares,
- en sélectionnant les variables n'ayant pas trop de « zéro » et les taxons bien représentés (présence >4), ce qui permettra de faire apparaître les principales tendances.

331 - Analyse générale prenant en compte toutes les variables de tous les groupes.

Les 5 groupes pris en compte sont respectivement la mésologie (Gr1), la chimie (Gr2), les macrophytes (Gr3), les invertébrés (Gr4) et les poissons (Gr5), qui correspondent à 167 variables actives (respectivement 16, 5, 51, 79 et 16 variables par groupe) pour 21 individus.

3311 - Structures générales

L'histogramme des valeurs propres fait apparaître une structure bi voire tri-dimensionnelle, les deux premiers axes cumulant 25,3 % de l'inertie globale (respectivement 14,2 et 11,1 %), et les trois premiers 34,0 %. Il existe également un saut entre les valeurs propres des axes 7 et 8, les 7 premiers axes cumulant 61,4 %.

Les invertébrés, les macrophytes et les poissons sont, par ordre décroissant les mieux représentés et traduisent le mieux l'inertie globale du système. A l'opposé, la chimie montre une faible variabilité. Les coefficients de liaisons entre les groupes sont, par ordre décroissant, de 1,90 entre les macrophytes et les invertébrés, de 1,74 entre les invertébrés et les poissons, de 1,40 entre les poissons et les macrophytes, de 1,28 entre les invertébrés et la mésologie, de 0,94 entre les macrophytes et la mésologie et de 0,87 entre les poissons et la mésologie.

Les corrélations entre les variables canoniques et les variables générales de l'AFM, ainsi que les rapports entre inertie inter et l'inertie totale (tableau Xa) font apparaître les faits suivants :

- le groupe chimie n'est bien représenté que sur l'axe 1, la mésologie sur les deux premiers axes, contrairement aux compartiments biotiques qui sont bien représentés sur l'ensemble des 5 premiers axes.
- seul le premier axe est réellement commun à l'ensemble des compartiments, le second étant commun à la mésologie et aux compartiments biotiques.

Tableau.X. Corrélations entre variables canoniques et variables générales des A.F.M. et rapports Inertie inter/ Inertie totale.

| | <u>Facteur 1</u> | <u>Facteur 2</u> | <u>Facteur 3</u> | <u>Facteur 4</u> | <u>Facteur 5</u> |
|--------------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| <u>A.F.M. Générale</u> | | | | | |
| Gr1 : Mésologie | 0.84 | 0.85 | 0.50 | 0.56 | 0.67 |
| Gr2 : Chimie | 0.61 | 0.47 | 0.37 | 0.55 | 0.31 |
| Gr3 : Macrophytes | 0.85 | 0.86 | 0.88 | 0.92 | 0.90 |
| Gr4 : Invertébrés | 0.89 | 0.89 | 0.96 | 0.83 | 0.90 |
| Gr5 : Poissons | 0.90 | 0.85 | 0.84 | 0.90 | 0.73 |
| Inertie inter/ Inertie totale | 0.67 | 0,63 | 0,55 | 0.53 | 0.51 |
| <u>A.F.M. Restreinte</u> | | | | | |
| Gr1 : Mésologie | 0.79 | 0.75 | 0.59 | 0.81 | 0.41 |
| Gr2 : Macrophytes | 0.84 | 0.69 | 0.82 | 0.82 | 0.58 |
| Gr3 : Invertébrés | 0.88 | 0.91 | 0.94 | 0.85 | 0.90 |
| Gr4 : Poissons | 0.84 | 0.84 | 0.61 | 0.78 | 0.59 |
| Gr5 : Chimie | 0.63 | 0.30 | 0.15 | 0.49 | 0.64 |
| Inertie inter/ Inertie totale | 0.64 | 0.52 | 0.43 | 0.55 | 0.38 |

3312 - Analyse des variables (plan factoriel $F1 \times F2$: figures 35a et 35b)

Chacun des compartiments contribuant à l'inertie de l'axe 1, il est nécessaire d'analyser la répartition de leurs variables les plus contributives :

- pour la mésologie, il y a une opposition entre, d'une part, la densité linéaire des faciès d'écoulement et les friselis, et, d'autre part, les racines et débris végétaux, le colmatage et la profondeur;
- pour la chimie, toutes les variables hormis les orthophosphates qui contribuent à l'axe 2 sont réparties sur la partie positive de l'axe 1.

L'axe 1 apparaît donc, pour le milieu physique comme pour la qualité de l'eau, comme un **axe de gabarit du cours d'eau, mais aussi du gradient de minéralisation.**

- Pour les macrophytes, il y a une opposition entre *Scapania undulata*, *Chiloscyphus polyanthos*, *Lemanea* sp., les algues, *Riccardia sinuata* et *Pellia epiphylla*, tous macrophytes plutôt d'amont et caractéristiques d'une assez bonne qualité d'eau, et *Sparganium erectum*, *Hydrocotyle vulgaris*, les renoncules aquatiques, *Iris pseudacorus* et surtout *Leptodictyum riparium*, ces variables étant soit caractéristiques d'eutrophisation ou particulièrement représentées dans des stations eutrophisées.

Facteur 2

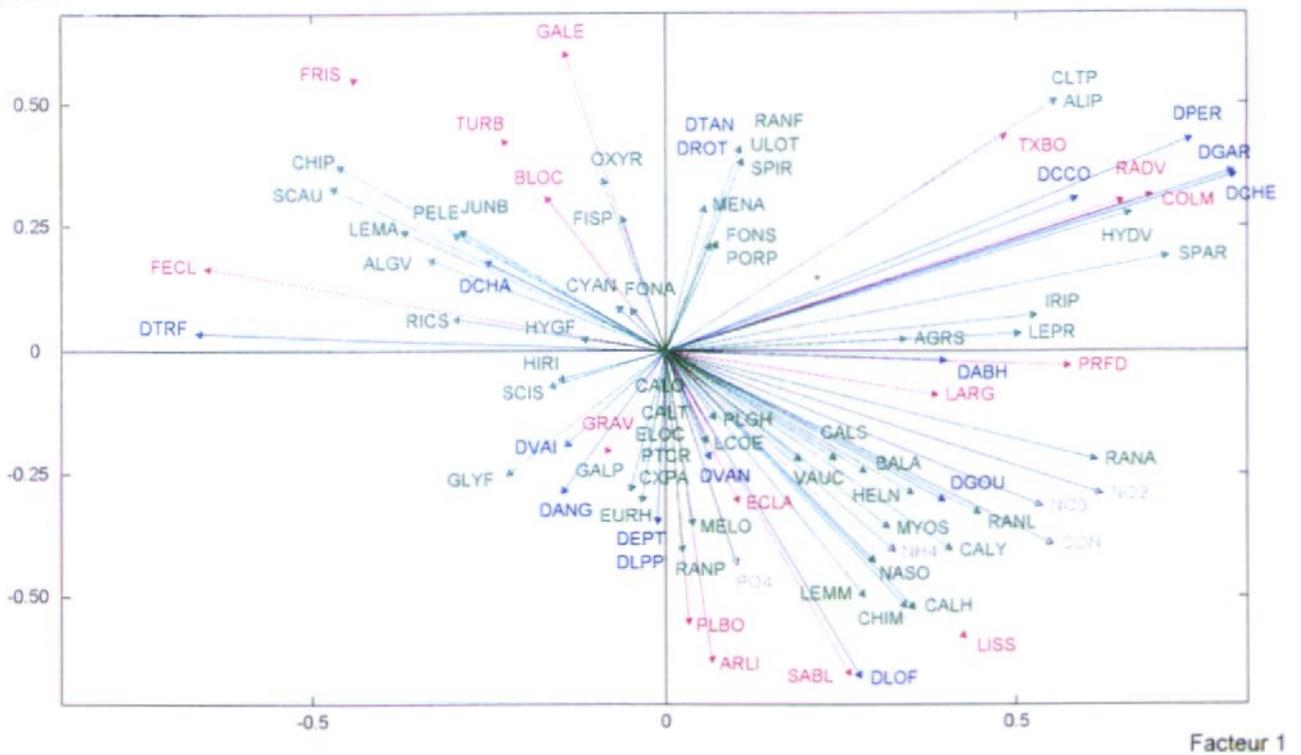


Figure 35a : Plan factoriel F1 x F2 des variables de l'A.F.M. générale à l'échelle de la station - Représentation de 4 des 5 groupes actifs : Mésologie (rouge), Chimie (gris), Macrophytes (vert), Poissons (bleu).

Facteur 2

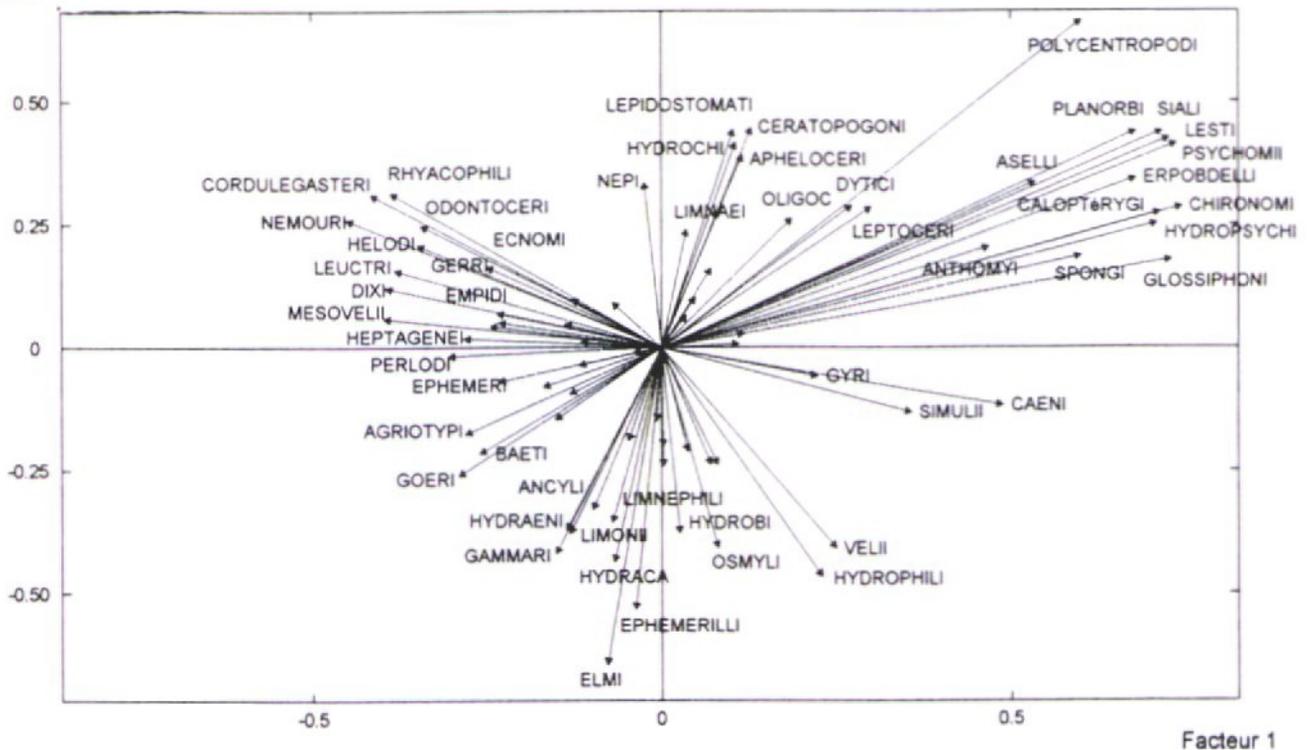


Figure 35b : Plan factoriel F1 x F2 des variables de l'A.F.M. générale à l'échelle de la station - Représentation du 5ème groupe actif : les Invertébrés.

- Pour les invertébrés, les rhéophiles plutôt d'amont, Nemouridae, Cordulegasteridae, Dixidae, Mesoveliidae, Rhyacophilidae, Odontoceridae sont opposés aux limnophiles et/ou taxons plutôt inféodés aux matières organiques, comme les Chironomidae, Pychomiidae, Glossiphonidae, Lestidae, Sialidae, Calopterygidae, Erpobdellidae.

- Enfin, pour les densités de poissons, les espèces classiques des têtes de bassins versants, chabot et truite fario sont opposées aux espèces plutôt lénitophiles et caractéristiques des étangs et cours d'eau de seconde catégorie piscicole, chevesne, gardon, perche et carpe commune.

Ces répartitions des taxons plus ou moins rhéophiles et de bonne qualité d'eau opposés aux taxons d'aval, plus lénitophiles, caractéristiques des eaux enrichies, confirment le diagnostic élaboré avec le milieu physique et la chimie de l'eau.

Pour l'axe 2, les principales variables contributives mettent en évidence les renseignements suivants :

- pour la mésologie, les galets, blocs et les écoulements friselis et turbulent s'opposent aux sables, argiles, à l'écoulement lisse et aux végétaux ripicoles : cet axe correspond donc à l'écoulement qui détermine lui-même le classement granulométrique;

- pour la chimie, il y a une forte contribution des orthophosphates;

- pour les macrophytes, un cortège plutôt rhéophile (notamment *Oxyrrhynchium rusciforme* et *C. polyanthos*), mais avec certaines espèces assez peu représentées (*Alisma plantago*, *Caltha palustris*, *Ulothrix* sp., *Spirogyra* sp., *Ranunculus flammula*) s'oppose à une végétation héliophile assez luxuriante et piégeant des sédiments fins, constituée notamment de *Nasturtium officinale*, *Myosotis scorpioides*, *Melosira* sp., *Ranunculus penicillatus*, *Lemna minor*, *Callitriche hamulata* et *C. platycarpa*;

- pour les invertébrés, l'opposition s'effectue entre d'une part, les Polycentropodidae, Lepidostomatidae, Ceratopogonidae, Sialidae, Lestidae et Planorbidae, et, d'autre part, les Elmidae, Ephémérellidae, Hydrophilidae, Hydracariens, Gammaridae, Véliidae et Osmylidae, les seconds regroupant un certain nombre de fouisseurs et de phytophages-détritiphages;

- pour les poissons, on a une opposition entre les espèces d'aval et/ou caractéristiques d'étanget de cours d'eau de seconde catégorie, tanche, rotengle, perche, chevesne, gardon et carpe commune, et des espèces considérées comme inféodées aux milieux à forte sédimentation ou riches en végétaux, loche franche, lamproie de Planer, épinochette, ainsi que le goujon et l'anguille.

Enfin, **sur l'axe 3**, des renseignements complémentaires apparaissent :

- aucune variable de chimie n'y contribue;

- seules les racines et débris végétaux représentent la mésologie,

- pour les macrophytes, *Agrostis stolonifera*, *Polygonum hydropiper*, *Ulothrix* sp., *R. flammula* et *Spirogyra* sp. caractérisent la partie positive de l'axe;
- pour les invertébrés, certains taxons d'insectes s'opposent notamment aux Spongiaires.
- pour les poissons, il y a dissociation des espèces lénitophiles et d'étang, et assez forte contribution de l'Able de Heckel.

3313 - Analyse des individus (plan factoriel F1xF2 : figure 36)

Sur l'axe 1, les individus traduisent à l'évidence le gradient d'eutrophisation, les stations du Tilleul caractérisant la partie positive de l'axe, et s'opposant notamment aux stations forestières.

L'axe 2 différencie les stations du Tilleul : l'amont des étangs (Gué Chartier) caractérise la partie négative de l'axe, et l'aval, Grand Etinoux (2 stations) et Moulin Lassue caractérisant la partie positive de cet axe. Il s'agit en fait d'une opposition entre un contexte prairial et forestier ou fortement bocager.

Enfin, l'axe 3 est surtout caractérisé par la station du Moulin Lassue, avec son peuplement pisciaire particulier.

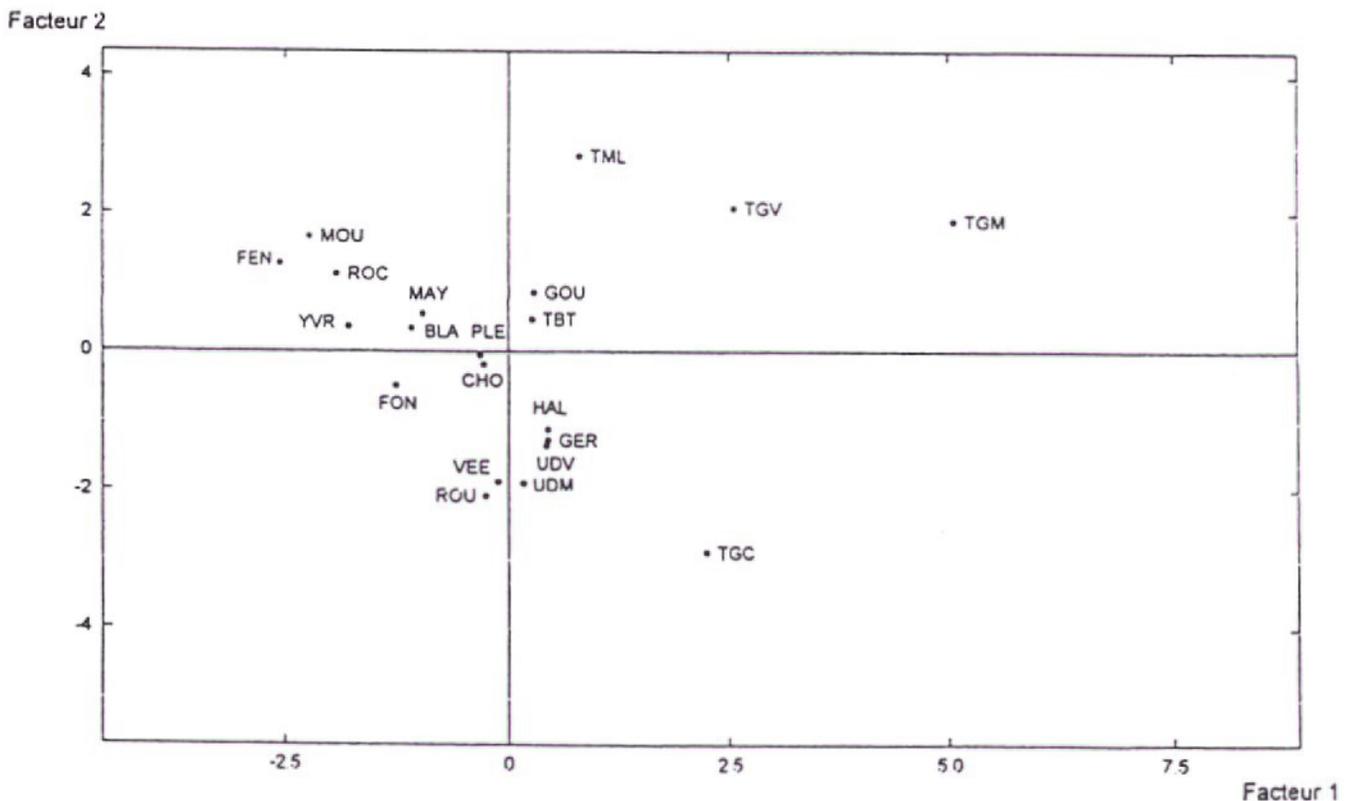


Figure 36 : Plan factoriel F1xF2 des individus de l'AFM générale à l'échelle de la station.

Figure 37a : Plan factoriel F1 x F2 des variables de l'A.F.M. restreinte à l'échelle de la station - Représentation de 4 des 5 groupes actifs : Mésologie (rouge), Chimie (gris), Macrophytes (vert), Poissons (bleu).

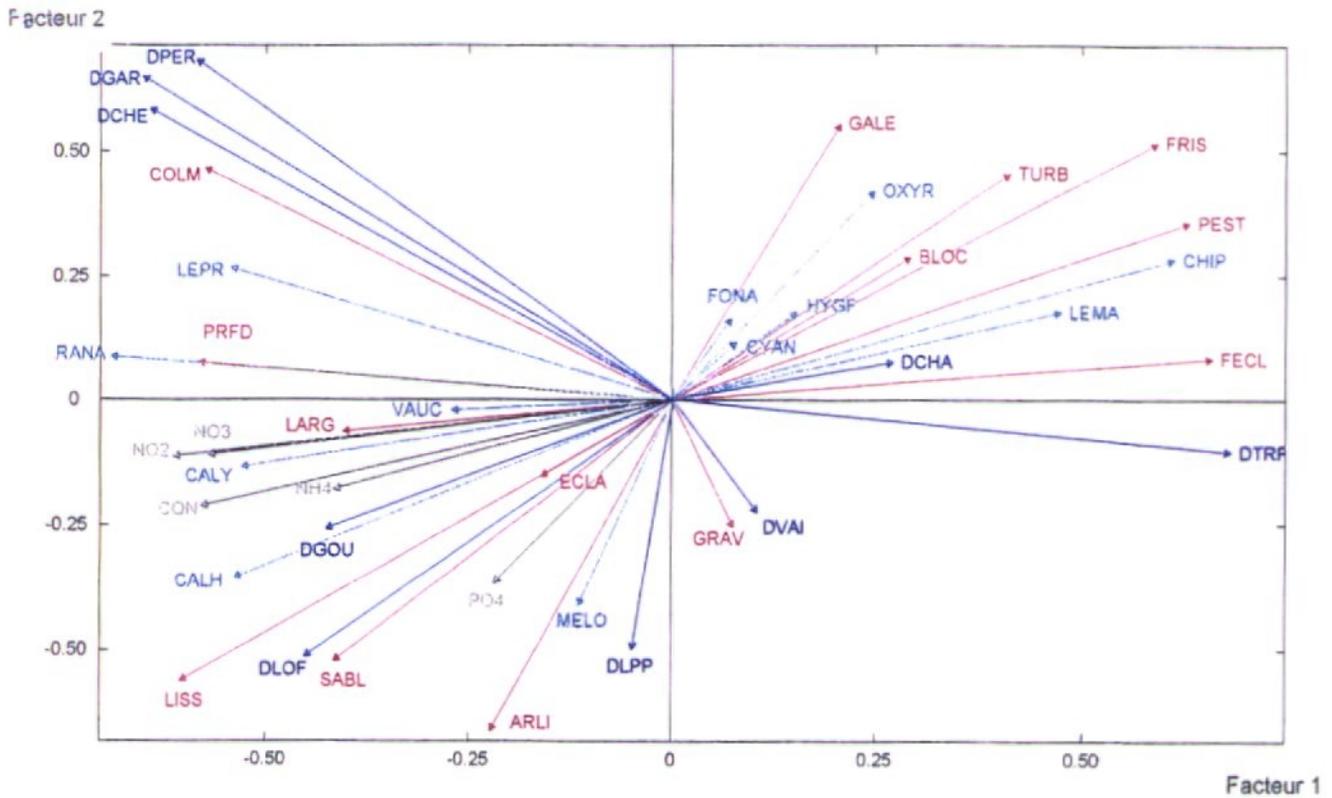
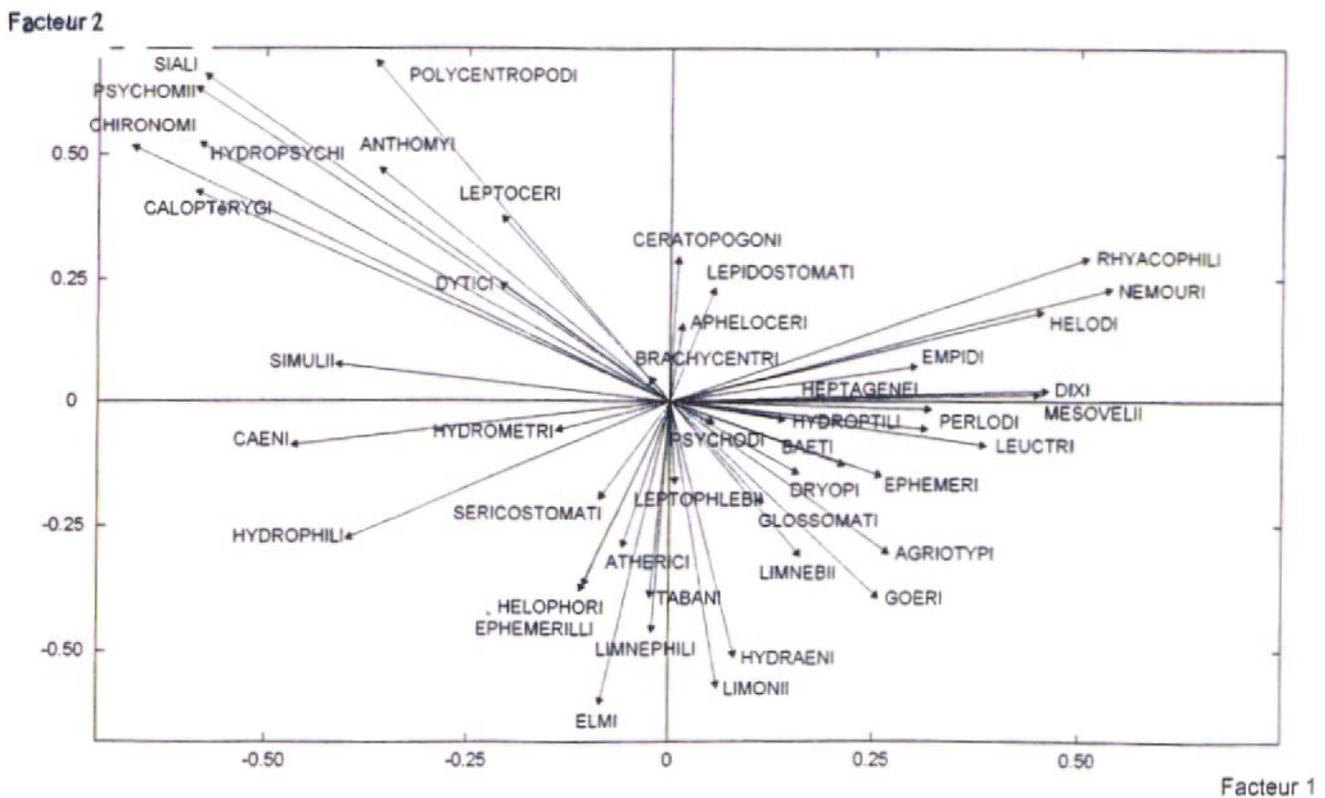


Figure 37b : Plan factoriel F1 x F2 des variables de l'A.F.M. restreinte à l'échelle de la station - Représentation du 5ème groupe actif : les Invertébrés.



332 - Analyse restreinte prenant en compte les taxons les mieux représentés

3321 - Structures générales

Chacun des compartiments traduit de façon originale l'état de l'hydrosystème. Le but de cette AFM est de dégager les structures communes à ces divers compartiments. Le choix des variables constitutives de chaque groupe est effectué en fonction des ACP précédemment réalisées. Pour chaque compartiment, seules les variables les plus représentées et significatives ont été retenues.

Les analyses préliminaires des cinq groupes de variables sous formes d'ACP séparées sont bien entendu similaires à celles effectuées précédemment. L'analyse globale, quant à elle, présente, à l'examen de l'histogramme des valeurs propres, une structuration bi-dimensionnelle. Les deux premiers axes cumulent près de 30 % de l'inertie.

Les corrélations entre les variables canoniques et les facteurs de l'analyse globale qui apparaissent dans le **tableau Xb**, mettent en évidence que seul le premier facteur est commun à chacun des groupes. Toutefois, la chimie est un peu moins bien représentée sur cet axe 1 et très mal sur l'axe 2, ce que l'on peut relier à la structure fortement unidimensionnelle de son ACP. En revanche, le groupe des Invertébrés benthiques est très bien représenté sur les cinq premiers axes.

Par rapport à l'A.F.M. générale, la sélection des variables les plus communes restreint l'importance de la structure d'ensemble de façon importante. On se trouve alors confronté à l'opposition entre la mise en évidence de phénomènes suffisamment représentés pour avoir une signification statistique, et les phénomènes les plus prégnants dont on ne sait pas s'ils sont singuliers et liés au faible effectif de l'échantillon (seulement 21 stations) ou indiquent des phénomènes écologiques importants restreints à quelques stations (par exemple forestières et oligotrophes).

Le rapport Inertie inter/ Inertie totale montre dans quelle mesure chaque axe met en évidence une structure commune aux groupes. Ici, aucun des rapports n'est très élevé, mais chacun des axes correspond à une structure partiellement commune.

Les deux premiers axes qui traduisent les structures dominantes, seront donc analysés un par un.

L'axe 1

En ce qui concerne la **mésologie**, l'axe1 oppose des cours d'eau de gabarit important associés à un colmatage prononcé et à un écoulement de type lisse, à des cours d'eau de dimensions plus modestes caractérisés par une pente importante, un nombre élevé de faciès d'écoulement par 100 m linéaires et un écoulement de type friselis.

Concernant la **chimie**, on constate qu'à l'exception des orthophosphates qui décrivent plutôt l'axe2, les variables se répartissent sur la partie négative de l'axe1 et caractérisent ainsi les cours d'eau de gabarit important.

Ce premier axe apparaît donc composite, **représentatif à la fois du gabarit des cours d'eau** (zonation longitudinale) **et de la qualité de l'eau** (axe de minéralisation).

Pour les **macrophytes**, on note une opposition entre deux espèces caractéristiques de bonne qualité d'eau, une hépatique sciaphile *Chiloscyphus polyanthus* et l'algue rouge *Lemanea* sp à des hydrophytes caractéristiques de secteur plus aval, *Ranunculus peltatus*, *Callitriche hamulata* et *C. platycarpa*, ainsi qu'à la bryophyte, *Leptodictyum riparium*, révélatrice de dégradation de la qualité de l'eau (DANIEL & HAURY 1995, 1996).

Pour les **Invertébrés benthiques**, il y a une opposition entre les Sialidae, Psychomiidae (4), Chironomidae, Hydropsychidae (3), Calopterigidae, Simuliidae, Caenidae (2) et Hydrophilidae sur la partie négative de l'axe, et les Rhyacophilidae, Nemouridae (6), Helodidea, Dixidae, Mesoveliidae, Leuctridae (7) et Perlodidae (9) sur la partie positive de l'axe 1. Le chiffre entre parenthèses indique le niveau de groupe indicateur de la qualité de l'eau, pour les taxons retenus pour calculer l'IBGN. La présence de taxons à indice de niveau élevé (Leuctridae et Perlodidae) tend à renforcer la notion d'axe de "qualité générale" attribuée à cet axe1. D'autre part, l'étude de l'écologie des familles répertoriées conforte l'idée d'une opposition entre invertébrés prédateurs et invertébrés plutôt filtreurs tels les Sialidae indicateurs de milieu à forte charge en matières organiques (TACHET *et al*, 1980).

Pour les **poissons**, on note une opposition entre les truites et dans une moindre mesure, les chabots, aux perches, gardons, chevesnes et goujons de façon moins nette, c'est à dire deux espèces classiques de ce type de cours d'eau de tête de bassin versant, à des espèces atypiques de ces cours d'eau dont la présence traduit l'influence des étangs.

L'axe 2

En ce qui concerne la **mésologie**, l'axe2 oppose un écoulement de type lisse associé à une granulométrie fine (argiles, limons et sables), à un écoulement de type friselis et turbulent associé à une granulométrie plus grossière (galets et blocs). Cet axe2 est donc principalement

représentatif du type d'écoulement et de la granulométrie du substrat associé. Cependant la variable colmatage participe également à cet axe.

La chimie ne contribue que faiblement à cet axe. Seuls les orthophosphates révélateurs d'eutrophisation apparaissent plus liés à cet axe2 qu'à l'axe1.

Pour les macrophytes on note l'opposition entre deux espèces de faciès lentique, *Callitriche hamulata* nécessitant de plus des substrats fins et l'algue *Melosira* sp. qui se développe sur les végétaux ou directement sur les fonds en endroits calmes, et des espèces nettement plus rhéophiles, *Oxyrrhynchium rusiforme* et *Chiloscyphus polyanthus*.

La répartition des invertébrés benthiques sur cet axe apparaît liée aux végétaux., et probablement à leurs régimes alimentaires.

Pour le compartiment poissons, cet axe met en évidence l'affinité de la Lamproie de Planer pour les faciès lenticques à granulométrie argilo-limoneuse déjà notée par NEVEU (1981). La Loche franche de son côté semble apprécier les substrats sablonneux.

3323 - Répartition des individus dans le plan factoriel F1xF2 (Figure 38)

Le plan factoriel des individus permet d'illustrer les caractéristiques de l'axe 1 en opposant d'une part les cours d'eau eutrophisés du Tilleul, aux cours d'eau peu pollués comme la Fendrie, la Roche-Elie, l'Yvrandes ou la Mousse. Dans une moindre mesure, cet axe 1 dissocie les petits ruisseaux des cours d'eau à plus grand gabarit comme l'Udon et la Halouze.

Sur l'axe 2, les stations plutôt lentes, avec des limons, argiles et sables, la Vée, les deux stations de l'Udon, ou la Halouze s'opposent aux stations rapides à granulométrie grossière avec des galets et des blocs, le Tilleul au Moulin Lassue ou la Gourbe.

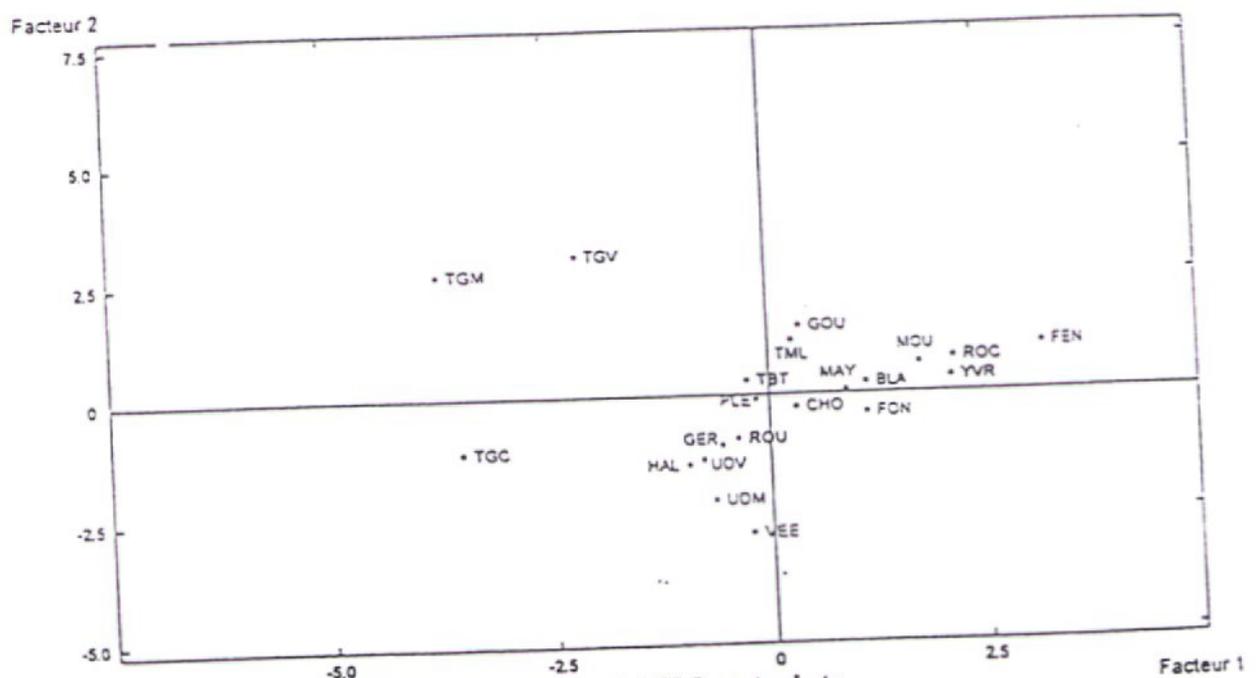


Figure 38 : Plan factoriel F1xF2 des stations de l'AFM restreinte.

3324 - Cohérence entre les images inter-compartiments

L'AFM fournit les valeurs de l'inertie intra pour chaque individu qui permet de jauger la cohérence des différents compartiments. Ainsi les individus (stations) ayant une faible inertie intra ont des images partielles cohérentes entre elles et illustrent ainsi la structure commune. Au contraire, les individus ayant une forte inertie intra s'inscrivent le moins bien dans la structure commune.

Du point de vue du **premier facteur** (qualité générale et gabarit), la Fendrie, la Rouvre, la Roche-Elie, la Mayenne, le Tilleul au Bois du Triage, le Gérard, la Blandinière, la Vée, la Fontaine au Héron et le Tilleul au Moulin Lassue sont homogènes. En revanche, l'Udon amont et la Plesse dans une certaine mesure, mais surtout l'Yvrandes, la Gourbe, la Mousse, la Halouze, le Choisel, le Tilleul au Gué Chartier et au Grand Etinoux amont et aval sont hétérogènes par l'image d'au moins un compartiment.

Ainsi, l'Yvrandes se singularise par son compartiment chimie, en particulier par un niveau de nitrates élevé. La Gourbe possède un peuplement pisciaire particulier en raison d'espèces stagnopliles issues d'étangs. La Mousse est très oligotrophe avec une conductivité très faible. La Halouze se distingue par son gabarit. Le Choisel semble le plus pollué des cours d'eau de l'Observatoire pour les orthophosphates. Le Tilleul au Gué Chartier se caractérise par un fort développement de macrophytes (fortes proliférations de renoncules en particulier). Le Tilleul au Grand Etinoux amont possède un peuplement de poissons très perturbé ainsi qu'une mauvaise qualité d'eau, alors que la station aval se distingue par un peuplement d'invertébrés très dégradé et un fort colmatage.

Pour le **deuxième facteur** (type d'écoulement et granulométrie, mais aussi chimie et colmatage), la Blandinière, la Mayenne, la Rouvre, le Choisel, la Plesse, le Tilleul au Bois du Triage, l'Udon aval, la Fendrie, le Tilleul au Gué Chartier et la Fontaine au Héron sont homogènes. Cette homogénéité diminue de la Roche-Elie à l'Udon amont. Les stations suivantes, la Halouze et la Vée, sont hétérogènes par l'image d'un compartiment, respectivement la mésologie et la chimie. Enfin les stations du Grand Etinoux sont très hétérogènes, pour 4 des 5 compartiments.

Ainsi la Halouze se distingue par l'absence totale de blocs, la Vée par sa chimie, bien que cette particularité soit particulièrement difficile à expliquer en raison de la faible participation du compartiment chimie à la définition de cet axe. Les deux stations du Tilleul au Grand Etinoux, pour l'ensemble des caractéristiques décrites pour le facteur 1.

34 - Analyse multi-compartiments à l'échelle du segment sur données transformées

341 - Présentation des données transformées

Le traitement à partir des données biologiques brutes (relevés par taxon) n'apporte pas de résultats pleinement satisfaisants. Les stations apparaissent trop différentes pour que l'AFM puisse dégager des tendances sur l'ensemble de l'échantillon, ce qui amène à considérer des variables ou individus comme illustratifs.

Afin de contourner ce problème, les **données biologiques ont été réorganisées** suivant une **approche moins descriptive mais plus fonctionnelle des compartiments**.

Pour chaque station et chaque compartiment biotique, les taxons sont rassemblés dans des **groupes fonctionnels ou typologiques**, en utilisant la bibliographie suivante pour les groupes fonctionnels : TACHET *et al.* (1980) pour les invertébrés et MICHEL & OBERDORFF (1995) pour les régimes alimentaires des poissons, ainsi que les travaux divers sur les macrophytes et les flores (HAURY 1996 pour une bibliographie assez exhaustive).

L'abondance est mesurée et **trois descripteurs de diversités sont calculés** :

- Richesse taxonomique : S ,

- Indice de Shannon : $H' = \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i$,

- Equitabilité : $E = H' / \log_2 S$ avec p_i , fréquence relative de

chacun des n taxons de la station.

Le tableau de données compte 21 individus (16 cours d'eau) et 43 variables réparties en 5 groupes :

Chimie : 4 variables

Moyennes sur les 7 campagnes de la conductivité (con), des teneurs en phosphates (PO₄), nitrates (NO₃), nitrites (NO₂) et ammonium (NH₄).

Mésologie : 13 variables

- écoulement : % turbulent (turb), % friselis (fris), % lisse (liss),
- granulométrie : % argiles et limons (arli), % sables (sabl), % graviers (grav), % galets (gale), % blocs (bloc), % colmatage (colm),
- morphométrie : largeur en eau (larg), profondeur (prfd), densité linéaire de faciès d'écoulement (fecl), hauteur moyenne des rives (htri).

Macrophytes : 9 variables

- descripteurs de diversité : indice de Shannon (VSHA), équitabilité (VEQU), richesse spécifique (INBT) (*unité taxonomique : espèce*),
- abondance : recouvrement total (VTOT),

- types biologiques : % algues (V%AL), % hépatiques (V%HP), % bryophytes (V%BY), % hydrophytes batrachiides (V%HB), % hélrophytes (V%HE).

Invertébrés : 8 variables

- descripteurs de diversité : indice de Shannon (ISHA), équitabilité (IEQU), richesse taxonomique (INBT) (*unité taxonomique : famille*),
- abondance : effectif total (ITOT),
- groupes fonctionnels : % collecteurs (I%CO), % broyeurs (I%BY), % brouteurs (I%BT), % prédateurs (I%PT).

Poissons : 8 variables

- descripteurs de diversité : indice de Shannon (PSHA), équitabilité (PEQU), richesse taxonomique (PNBT) (*unité taxonomique : espèce*),
- abondance : effectif total (PTOT)
- groupes fonctionnels : % invertivores (P%IN), % omnivores (P%OM), % filtreurs (P%FI), % piscivores (P%PI).

342 - Résultats de l'A.F.M.

3421 - Indices généraux de l'AFM

Les blocs invertébrés, poissons, mésologie et chimie ont une structure bidimensionnelle alors que le bloc macrophytes a une structure tridimensionnelle. L'histogramme des valeurs propres de l'analyse globale ne fait ressortir que les deux premiers axes avec des pourcentages d'inertie de 22.2% et 15.4%.

Les corrélations entre les variables canoniques et les variables générales (**Tableau XI**) montrent que l'axe 1 est principalement déterminé par les macrophytes, les poissons, la mésologie, et secondairement par la chimie. Sur l'axe 2 les invertébrés, les macrophytes, et dans une moindre mesure, la mésologie et les poissons sont bien représentés. Avec cette transformation, aucun des deux facteurs n'est donc commun à l'ensemble des groupes et la chimie apparaît comme le groupe le moins bien représenté.

Tableau XI : Corrélations entre les variables canoniques et les variables générales

| Groupes / Facteur n° | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Mésologie | 0.804 | 0.780 | 0.730 | 0.462 | 0.607 |
| Chimie | 0.703 | 0.372 | 0.588 | 0.651 | 0.292 |
| Macrophytes | 0.864 | 0.852 | 0.834 | 0.643 | 0.668 |
| Invertébrés | 0.562 | 0.867 | 0.592 | 0.541 | 0.755 |
| Poissons | 0.807 | 0.719 | 0.648 | 0.502 | 0.550 |

3422 - Représentation des variables (Figure 39)

Axe 1

La densité linéaire de faciès d'écoulement, les galets et l'écoulement de type friselis sont corrélés positivement à l'axe 1 et s'opposent à la largeur, la profondeur, les sables et l'écoulement de type lisse.

Les variables chimiques les plus corrélées à l'axe sont les nitrites, la conductivité et les nitrates ; elles se situent sur la partie négative.

Le premier axe oppose les hépatiques et les poissons invertivores (corrélations positives) aux hydrophytes batrachiides, aux poissons omnivores et aux indices de diversité des poissons (corrélations négatives).

Axe 2

Le second axe oppose le colmatage superficiel (corrélation positive) aux limons, traduisant un niveau de colmatage supérieur, et à la hauteur des rives (corrélation négative).

Les descripteurs de diversité de la végétation (principalement l'indice de Shannon et le nombre de taxons), les invertébrés prédateurs et collecteurs, ainsi que les poissons prédateurs sont corrélés positivement à l'axe 2. Ces variables s'opposent aux invertébrés brouteurs, à deux descripteurs de diversité des invertébrés (indice de shannon et l'équitabilité) et aux poissons filtreurs.

3423 - Représentation des individus (Figure 40)

Axe 1

Les stations corrélées positivement à l'axe 1 sont à l'exutoire de bassin versants forestiers, mixtes ou agricoles (principalement de type bocage - tableau I) et s'opposent à des stations dont les bassins versants sont tous agricoles. De plus, les bassins versants de petite taille tendent à se regrouper sur la partie positive de l'axe.

Axe 2

L'axe 2 oppose des stations pour la plupart recalibrées (corrélations négatives) aux stations d'un même cours d'eau soumises à l'influence d'étangs (corrélations positives).

3424 - Signification des axes

L'axe 1 rend compte des conditions du milieu tant d'un point de vue chimique que mésologique. Les hydrosystèmes les plus petits apparaissent également comme les plus lotiques et les moins minéralisés. Ils correspondent à des bassins versants forestiers ou agricoles de type bocage. Ces cours d'eau se caractérisent par un peuplement piscicole peu diversifié dominé par les poissons invertivores et par une végétation à forte proportion d'hépatiques.

A l'inverse, les stations d'un gabarit (largeur, profondeur) plus important sont à la fois les plus lenticules et les plus minéralisées. Elles sont à l'exutoire de bassins versants agricoles de taille souvent plus importante et présentent un peuplement piscicole diversifié à forte proportion de poissons omnivores. La végétation y est principalement à base d'hydrophytes batrachiides.

L'axe 2 met en évidence deux formes de dégradation des cours d'eau :

- Le colmatage

Mesuré par le taux d'argiles-limons, il se traduit par un peuplement d'insectes diversifié à forte proportion de brouteurs, une faible diversité de la végétation aquatique et une forte proportion de poissons filtreurs. Le colmatage tend à caractériser le recalibrage.

- L'impact des étangs

Les stations sous l'influence d'étangs présentent un fort pourcentage d'insectes collecteurs et une végétation aquatique diversifiée (Indice de Shannon et richesse taxonomique élevés). Le colmatage superficiel y est important.

3425 - Résultats complémentaires de la matrice de corrélation

Macrophytes

Les algues sont corrélées positivement aux concentrations en phosphates.

Les hépatiques se développent préférentiellement dans les secteurs lotiques et dans des eaux oligotrophes.

Les bryophytes présentent une corrélation négative significative avec les argiles-limons. Ils tendent à se développer dans des milieux lotiques à granulométrie grossière.

Les héliophytes sont fortement corrélés aux argiles-limons.

Les hydrophytes batrachiides (renoncules et callitriches) sont les plus abondants dans les stations lenticques à granulométrie fine (argiles-limons et sables) et aux eaux riches en nitrites.

Invertébrés

Les invertébrés collecteurs sont corrélés positivement au colmatage superficiel.

Les proportions d'invertébrés broyeurs augmentent dans les cours d'eau à forte densité linéaire de faciès d'écoulement.

Les invertébrés brouteurs sont les mieux représentés dans les stations lenticques (% lisse).

Les invertébrés prédateurs ont une corrélation négative avec les argiles-limons mais positive avec le colmatage superficiel (% colm).

Poissons

Les poissons invertivores sont favorisés dans les secteurs lotiques à forte densité linéaire de faciès d'écoulement.

A l'inverse, les poissons omnivores (vairon, goujons, gardons...) présentent des corrélations négatives avec l'écoulement de surface de type friselis et la densité linéaire de faciès d'écoulement. Ils sont inféodés à des cours d'eau d'un gabarit plus important (corrélations positives avec la largeur et la profondeur).

Les poissons filtreurs, uniquement représentés par la Lamproie de Planer, sont inféodés à une granulométrie très fine (argiles-limons).

35 - Conclusion sur l'état de ces stations

351 - Bilan général de l'état des cours d'eau

Les caractéristiques mésologiques des stations de l'Observatoire traduisent une grande hétérogénéité. Celle-ci apparaît clairement sur les axes factoriels des A.C.P. et des AFM. Les paramètres discriminants sont le type d'écoulement, le gabarit et l'importance du colmatage. L'impact des activités humaines sur le milieu physique est mis également en évidence : le recalibrage est prédominant dans les facteurs d'altération physique, mais la présence d'étangs n'est pas négligeable et constitue sans doute en grande partie, la source de colmatage.

L'étude de la chimie de l'eau permet de mettre en évidence le caractère tout à fait particulier de la Fendrie, de la Mousse et de Roche-Elie dont les bassins versants sont de type forestier, ces cours d'eau étant faiblement minéralisés et présentant de faibles teneurs en sels azotés et en phosphates. Par ailleurs, elle permet de juger de l'état général de la qualité des eaux des autres cours d'eau de l'Observatoire dont les bassins versants sont essentiellement agricoles, au regard de la grille de description de la qualité des eaux des Agences de l'Eau (**annexe 5**). Ainsi les valeurs de conductivité toujours inférieures à 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sont celles d'une eau de bonne qualité, la limite supérieure de la classe S0 étant fixée à 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En revanche, les taux de nitrates s'avèrent plus préoccupants. En effet, en dehors de la Mousse (classe 1A), de la Fendrie et de Roche-Elie (classe 1B), la Fontaine au Héron, le Gérard, la Gourbe, la Mayenne, la Plesse, le Tilleul au Bois du Triage, la Vée (classe 2) et surtout la Blandinière, le Choisel, la Halouze, la Rouvre, le Tilleul au Gué Chartier, au Grand Etinoux, au Moulin Lassue, l'Udon et l'Yvrandes (classe 3) révèlent une assez forte pollution par les nitrates. En ce qui concerne les taux de nitrites, seul le Gérard se situe à la limite de la classe 1B, tous les autres cours d'eau appartenant à la classe 1A. Cependant, au regard de la grille de qualité des eaux piscicoles, si seule la Mousse respecte la valeur-guide souhaitable pour les eaux salmonicoles, certains cours d'eau, le Choisel, la Rouvre, le Tilleul en général, l'Udon et surtout le Gérard approchent la limite supérieure de la valeur impérative à ne pas dépasser. Concernant l'ion ammonium, tous les cours d'eau se situent dans la classe 1A, à l'exception du Choisel en limite inférieure de classe 1B. Par ailleurs, la Blandinière, la Fendrie, la Fontaine au Héron, la Halouze, la Mousse, la Roche-Elie, le Tilleul au Bois du Triage et au Moulin Lassue et la Vée ont des teneurs en ammonium inférieures à la valeur guide préconisée pour les eaux salmonicoles. Les autres cours d'eau se situent très en deçà de la valeur impérative à ne pas dépasser. Enfin les teneurs en phosphates relevées sur les cours d'eau de l'Observatoire permettent de tous les classer dans la classe 1A, et se situent sensiblement en deçà de la valeur guide préconisée pour les eaux de qualité salmonicole.

Du point de vue de la qualité de l'eau, et bien que situés en tête de bassin versant, treize des seize ruisseaux de l'Observatoire des Rivières montrent une certaine pollution principalement par les nitrates. D'autre part, par rapport à la faune piscicole et aux populations de truites en particulier, la pollution par les nitrites est également préoccupante.

Pour les macrophytes, il ressort une très grande variabilité des peuplements, qui vont de systèmes très oligotrophes dominés par *Scapania undulata* voire des Sphaignes (Mousse) à des systèmes eutrophisés caractérisés par l'Elodée du Canada, le Potamot crépu et *Leptodictyum riparium*.

Les macrophytes sont à l'évidence très intégrateurs des conditions d'éclairement, et traduisent bien le boisement des berges et le contexte forestier ou prairial. Les phytocénoses sont assez pauvres dans ces petits cours d'eau, très spécialement lorsqu'il y a une très grande fermeture de la canopée (Choisel, Mayenne).

Enfin, des proliférations végétales dans les secteurs recalibrés et éclairés mettent en évidence la « mémoire » de l'écosystème par rapport à l'altération physique qu'il a subie.

Pour les invertébrés, le protocole d'échantillonnage particulier, destiné au calcul de l'IBGN, est basé sur le choix a priori des substrats échantillonnés (8 prélèvements par cours d'eau); il ne s'agit pas d'un échantillonnage systématique et par conséquent il n'est pas possible de faire la relation avec les caractéristiques physiques du milieu, mais seulement avec des caractéristiques générales des cours d'eau : chimie de l'eau en particulier; éventuellement colmatage. Ce protocole particulier de collecte de données contraste avec ce qui est réalisé pour les autres compartiments de l'étude et ne permet pas de poursuivre les mêmes objectifs. Une tentative de relier la note IBGN, la diversité taxonomique ou les effectifs totaux prélevés par station aux variables chimiques de l'eau ou au pourcentage de colmatage s'avère décevante, sauf pour la conductivité. La richesse taxonomique semble dépendante du taux de minéralisation de l'eau. Une faible richesse taxonomique caractérise des cours d'eau à tendance oligotrophe ou eutrophe et une forte richesse taxonomique correspond à un niveau de minéralisation intermédiaire. Une relation apparaît également entre les effectifs totaux prélevés et le niveau de minéralisation de l'eau. Les effectifs prélevés augmentent de manière exponentielle avec la conductivité. Une forte prolifération d'invertébrés semble être révélatrice d'eutrophisation. Le ruisseau du Choisel semble être un cas particulier, en raison, semble-t-il, d'un habitat peu diversifié, lequel n'offre pas les supports potentiellement les plus riches en invertébrés benthiques (DALIGAULT 1995).

Les poissons sont des organismes intéressants pour évaluer l'état d'un hydrosystème, car ils appartiennent à différents niveaux trophiques et ont des durées de vie relativement longues et par conséquent, constituent potentiellement de bons intégrateurs des perturbations

du milieu aquatique. Les relations entre les caractéristiques morphodynamiques des cours d'eau et le peuplement piscicole sont principalement issus des travaux de HUET (1949), ILLIES & BOTOSANEANU (1963) et plus récemment de VERNEAUX (1973, 1977). Ces travaux ont permis d'établir des structures biotypologiques de référence en fonction d'une zonation longitudinale des cours d'eau. D'une manière générale, la structure des peuplements des hydrosystèmes dépend étroitement des variables écologiques (AMOROS & PETTS 1993). L'étude du compartiment poisson permet de mettre en évidence quatre types de peuplements relatifs au gabarit des cours d'eau, au type d'écoulement et à la granulométrie. Les truites et les chabots sont généralement associés et caractérisent les petits cours d'eau à écoulement rapide et faiblement colmatés. Les cyprinidés d'eau vive sont plutôt représentatifs des cours d'eau d'aval de plus grande taille. Les carnassiers et les cyprinidés d'eau calme traduisent l'influence des étangs. Enfin les lamproies de Planer et les loches se retrouvent principalement dans les milieux à écoulement lisse et à granulométrie fine.

L'analyse par AFM permet de justifier l'approche multi-compartiments utilisée pour cette étude des cours d'eau de l'Observatoire des Rivières, en mettant en évidence **une complémentarité des approches dans la définition de la typologie de ces cours d'eau mais aussi de la qualité ou de l'état de dégradation des hydrosystèmes, par la définition d'un axe commun de "qualité générale"**.

352 - Questions soulevées et intérêt des études complémentaires

Plusieurs questions sont apparues lors de ces analyses :

- les protocoles d'étude sont-ils pertinents ?
- l'échantillonnage est-il suffisant ?
- quelle est la part de l'effet année ? et si un tel effet existe, affecte-t-il de la même manière toutes les stations ?
- si certains facteurs de dégradation sont clairement identifiés, que sait-on réellement de leurs mécanismes d'actions ?
- comment lutter contre les dégradations constatées ?
- quelle est la rémanence et donc la gravité de ces dégradations ?

Pour répondre, au moins partiellement, à ces questions, deux approches complémentaires ont été réalisées :

- la prise en compte du temps à deux échelles, en effectuant la phase 3 de façon aussi similaire que lors de la phase 2 : mêmes opérateurs de terrain pour les compartiments biotiques, mêmes stations;
- le suivi de l'aménagement du Tilleul.

4 - RESULTATS GENERAUX DE LA PHASE 3

Dans cette partie, seules sont présentées les évolutions majeures ainsi que les caractéristiques essentielles permettant d'interpréter les relations intercompartiments.

41 - Etat des compartiments

411 - Physico-chimie des eaux et relations chimie-débit

4111 - Description générale

Les chiffres généraux sont résumés dans l'annexe 4. De façon générale, les valeurs de conductivité sont un peu plus élevées que dans la phase 2. La Plesse et le Gué Chartier ont montré des pics de pollutions alarmants pour l'ammonium, les nitrites et les orthophosphates, ce qui est dû, pour La Plesse à un quasi-assèchement, et, pour le Gué Chartier, aux dysfonctionnements chroniques de la station d'épuration de Ciral. Les stations du Grand Etinoux, de l'Udon et de la Rouvre présentent des paramètres déclassants dans certains cas.

Dans l'analyse des relations concentrations-débits/concentrations, des relations ont été montrées pour certaines stations (au seuil de $P < 0,05 \%$) (Tableau XII)

Tableau XII : Régressions significatives entre le débit et certains paramètres chimiques.

| Paramètres STATIONS | Conductivité | NH4 | NO3 | NO2 | PO4 |
|------------------------|--------------|--------|-------|--------|--------|
| Blandinière | | | | | |
| Choisel | -0,946 | -0,942 | | 0,893 | |
| Fendrie | -0,969 | -0,896 | | | |
| Fontaine au Héron | -0,923 | | | | |
| Gérard | -0,981 | | | | |
| Gourbe | -0,952 | | | | |
| Halouze | | | | | |
| Mayenne | -0,926 | | | | |
| Mousse | | | | | -0,973 |
| Plesse | -0,992 | | | | |
| Roche-Elie | | | | | |
| Rouvre | -0,967 | | 0,941 | 0,902 | |
| Tilleul Gué Chartier | | | | -0,986 | |
| Tilleul Grand Etinoux | | -0,914 | | | -0,995 |
| Tilleul Moulin Lassue | -0,936 | -0,911 | | | |
| Tilleul Bois du Triage | | | | 0,882 | |
| Udon | -0,979 | | | | |
| Vée | -0,962 | | | | |
| Yvrandes | -0,937 | | | | |

Il en ressort que la conductivité est très fréquemment corrélée au débit. En revanche la corrélation nitrates-débit semble peu fréquente dans ces zones qui ne sont pas encore trop intensifiées. Les relations nitrites-débit restent à expliquer.

Pour les corrélations entre éléments chimiques, les nitrites et l'ammonium sont corrélés positivement, de même que les orthophosphates et les nitrites.

En raison du faible nombre de stations, il n'est néanmoins pas possible de conclure de façon certaine quant à un effet de l'occupation du bassin versant sur les relations débit-paramètres chimiques.

4112 - Analyse multidimensionnelle

Les analyses multidimensionnelles corroborent les résultats de la phase antérieure, quoiqu'avec une plus nette disjonction entre les variables de minéralisation (conductivité et nitrates) et de pollution (ammonium, nitrites, orthophosphates) (Figure 41).

L'axe 1 est caractérisé par les **phosphates**, les **nitrites** et la **conductivité**, alors que les **nitrates** et l'**ammonium** sont plutôt corrélés avec l'axe 2. Il est à noter que le taux de nitrates semble corrélé à la surface du bassin versant.

Le plan factoriel F1xF2 des individus fait ressortir comme polluées les stations de la Plesse (ammonium) et du Gué Chartier (orthophosphates), et l'Yvrandes et le Choisel pour leur enrichissement en nitrates. Les types de bassins versants distinguent très nettement les 3 stations forestières des stations à bassin versant bocager.

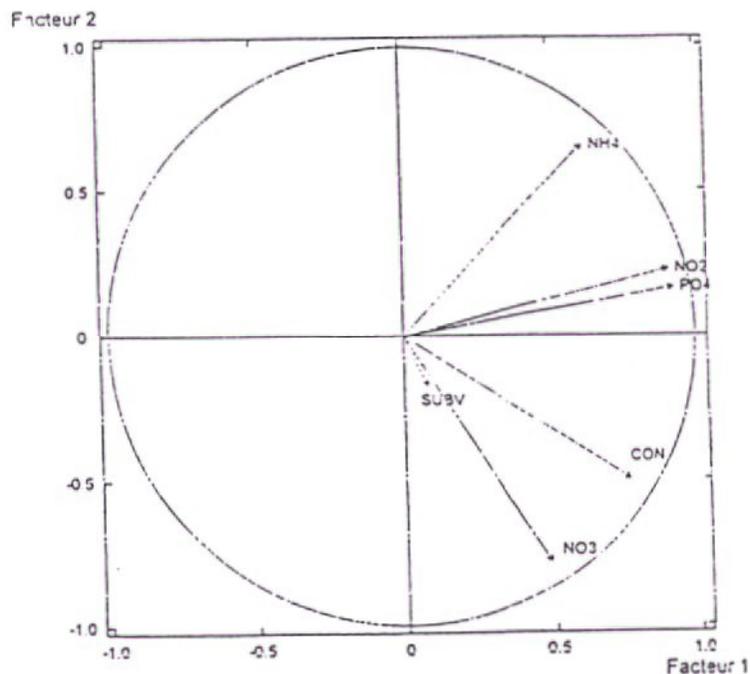


Figure 41 : Répartition des variables dans le plan factoriel F1 x F2 Chimie de la phase 3.

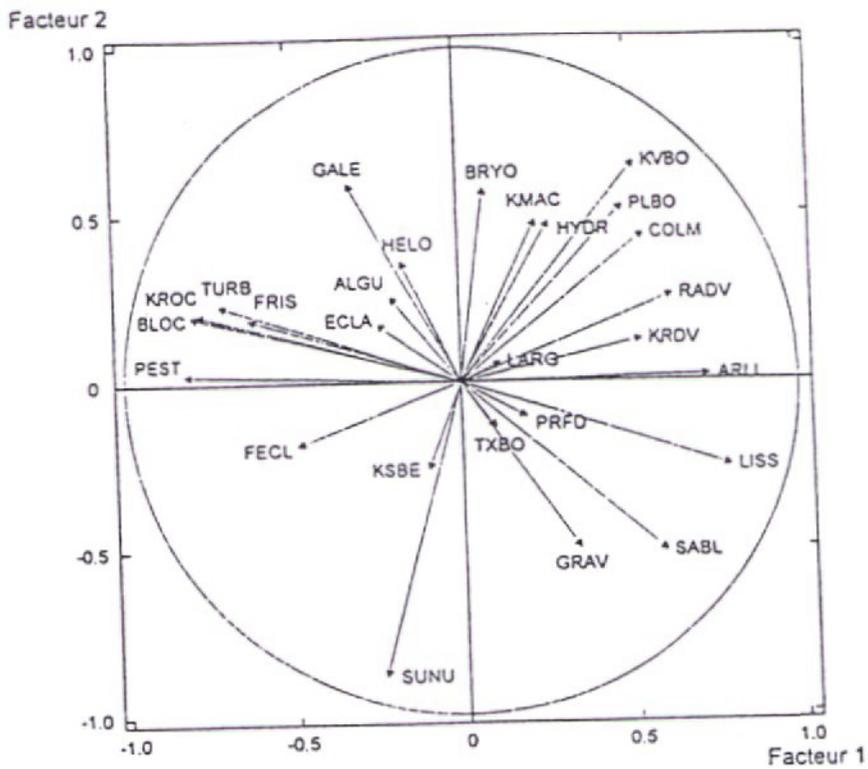


Figure 42 A : Plan factoriel F1xF2 des variables de l'ACP Mésologie de la phase 3.

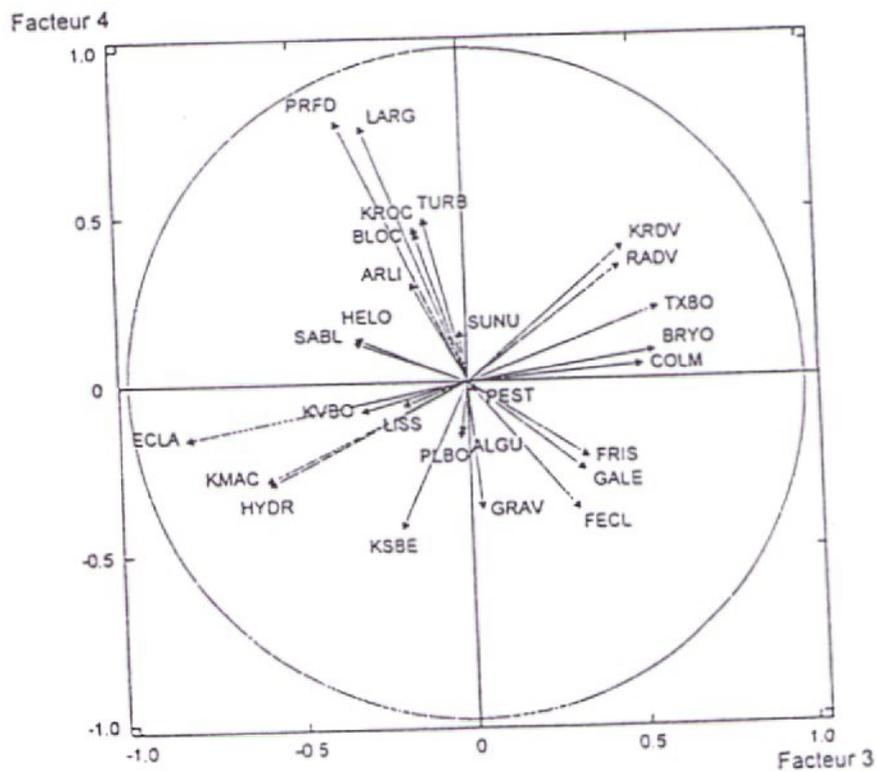


Figure 42 B : Plan factoriel F3xF4 des variables de l'ACP Mésologie de la phase 3

412 - Milieu physique

4121 - Description générale

Le découpage en faciès d'écoulement montre une assez grande stabilité des habitats entre les phases 2 et 3, avec néanmoins quelques regroupements sur certaines stations, et des modifications dues aux embâcles (Grand Etinoux) et à la fermeture de la canopée (Rouvre).

Les habitats de certaines stations ont subi des modifications importantes depuis 1994. Celles-ci ont correspondu :

- à la fermeture de la canopée, notamment par des aulnes sur la Rouvre, le Choisel, sur le Grand Etinoux amont et aval, le Moulin Lassue, le Gérard, la Vée,
- au piétinement important de jeunes bovins qui ont dégradé les berges sur la Fontaine au Héron, ainsi que sur la moitié aval de la Fendrie,
- au colmatage très important de la Plesse et de la Blandinière par des sédiments fins et par des Spongiaires qui continuent à se développer au Grand Etinoux aval.
- à l'apparition ou l'élargissement d'abreuvoirs sur le Gérard et le Gué Chartier,
- à une coupe à blanc de la ripisylve en rive gauche du Roche-Elie,
- à l'effondrement des berges sur plusieurs mètres de longueur sur le Gué Chartier.

Des embâcles d'importance décroissante sont apparus sur le Grand Etinoux amont, le Moulin Lassue, le Gérard, la Vée et, en aval de la station du Choisel.

4122 - Analyse multidimensionnelle

L'examen de l'histogramme des valeurs propres montre que les quatre premiers axes expliquent plus de 65 % de l'inertie totale. Le deuxième palier de décroissance par ordre d'importance intervient entre la quatrième et la cinquième valeur propre. L'analyse portera donc essentiellement sur les plans factoriels F1xF2 et F3xF4.

Les variables (Figures 42 A et B)

L'axe 1 oppose, d'une part, un écoulement de type lisse associé à une granulométrie fine (argile et limon et sable) et d'autre part un écoulement de type turbulent associé aux pentes marquées et à une granulométrie grossière (blocs). **Ce premier axe est donc relatif au type d'écoulement et à la granulométrie.**

L'axe 2 oppose l'absence de végétalisation du lit (SUNU) associé aux graviers et aux sables, aux bryophytes, hydrophytes et hélrophytes associées aux galets. **Ce deuxième axe correspond essentiellement à un axe de végétalisation relatif à la granulométrie.**

L'axe 3 oppose le taux de boisement associé aux bryophytes et à un colmatage important, à l'éclaircissement associé aux hydrophytes et aux caches sous macrophytes. **Le troisième axe correspond à un axe de végétalisation lié à l'éclaircissement.**

L'axe 4, caractérisé par les variables de profondeur et de largeur, **est relatif au gabarit des cours d'eau.**

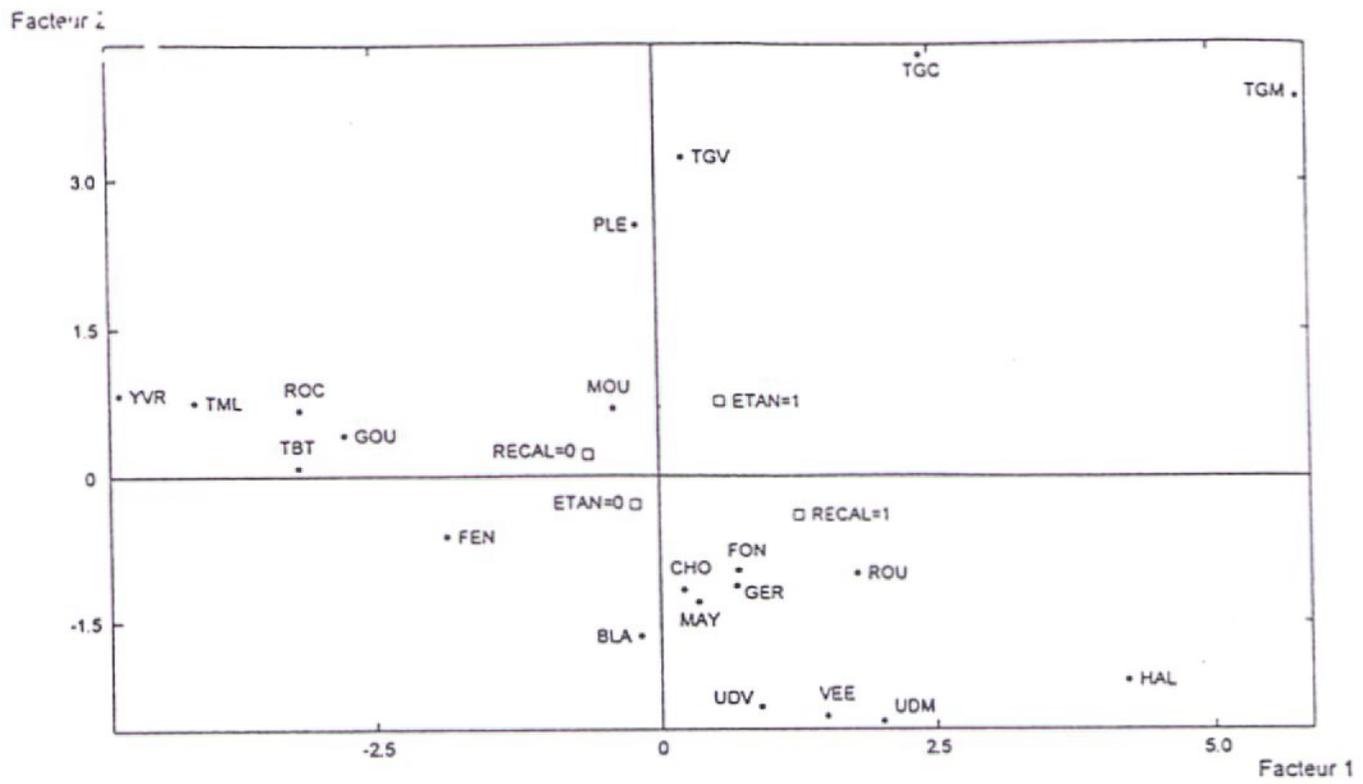


Figure 43 A : Plan factoriel F1xF2 des individus de l'ACP Mésologie de la phase 3.

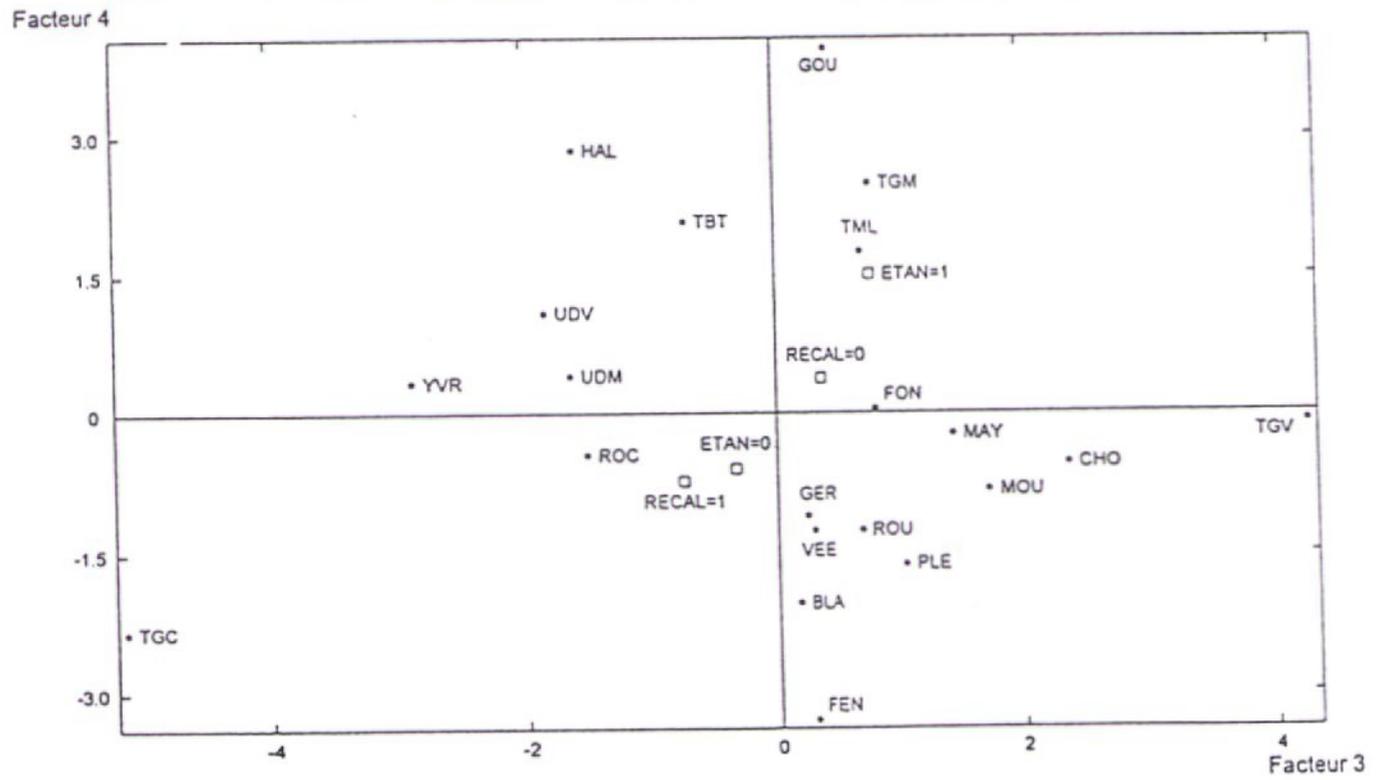


Figure 43 B : Plan factoriel F3xF4 des individus de l'ACP Mésologie de la phase 3

Les individus (Figures 43A et 43B)

L'axe 1 est caractérisé dans sa partie positive par le Tilleul au Grand Etinoux Amont (contribution de 23,9 %) et la Halouze (12,8), ces deux cours d'eau possédant le plus fort pourcentage d'argiles et limons et un écoulement de type lisse. La partie négative de l'axe est caractérisée par l'Yvrandes (16,4), le Tilleul au Moulin Lassue (11,9), le Tilleul au Bois du Triage (7,3), le Roche Elie (7,2) et la Gourbe (5,5), cours d'eau turbulents et de granulométrie grossière (galets et blocs).

L'axe 2 oppose les stations du Tilleul au Gué Chartier (21,8) (fort recouvrement en hydrophytes), au Grand Etinoux amont (17,6) (fort recouvrement en bryophytes et hélophytes) et aval (12,4) (très fort recouvrement en bryophytes), à l'Udon amont (7,6) et aval (6,6), à la Vée et à la Halouze cours d'eau au faible taux de végétalisation.

L'axe 3 oppose le Tilleul au Grand Etinoux aval, caractérisé par un taux de boisement important, un fort colmatage et, de loin, le plus fort recouvrement en bryophytes, au Tilleul au Gué Chartier dont les caractéristiques principales sont un éclaircissement important et surtout un très fort développement d'hydrophytes.

L'axe 4 oppose des cours d'eau de gabarit important tels la Gourbe, la Halouze, le Tilleul au grand Etinoux amont, au Bois du Triage et au Moulin Lassue, au plus petit ruisseau de l'Observatoire, la Fendrie.

Résultats de la C.A.H.

L'examen de l'histogramme des indices de niveau issu de la CAH incite à répartir les stations de l'Observatoire en 4 classes

La **classe 1** regroupe les stations suivantes : la Blandinière, le Choisel, la Fendrie, la Fontaine au Héron, le Gérard, la Mayenne, la Mousse, la Plesse, le Roche Elie, la Rouvre, le Tilleul au Grand Etinoux aval et la Vée. Cette classe regroupe la majorité des stations de l'Observatoire (11 sur 21) qui se caractérisent par un faible gabarit, peu de caches sous roches, un faible éclaircissement et une grande quantité de faciès d'écoulement.

La **classe 2** regroupe les stations suivantes : la Haouze et les deux stations de l'Udon. Les stations de cette classe possèdent un fort gabarit associé à un écoulement de type lisse et un nombre peu élevé de faciès d'écoulement.

La **classe 3** est constitué des stations suivantes : le Tilleul au Gué Chartier et au Grand Etinoux amont. Ces stations sont caractérisées par un fort développement des plantes bordurières et des hydrophytes et par conséquent des caches sous plantes bordurières et sous macrophytes. A l'inverse, le lit de ces stations présente un faible pourcentage de sol nu.

La **classe 4** regroupe les stations suivantes : la Gourbe, le Tilleul au Bois du Triage et au Moulin Lassue et l'Yvrande. Les stations de cette classe possèdent une pente marquée, une granulométrie grossière (blocs offrant de nombreuses caches sous roches) générant un écoulement turbulent.

Par rapport aux partitions en 5 puis 3 classes de la phase 2, les facteurs discriminants sont assez similaires, mais l'association de la classe 4 est assez surprenante : il sera donc intéressant de comparer les peuplements de ces 4 stations qui présentent un potentiel d'habitat comparable.

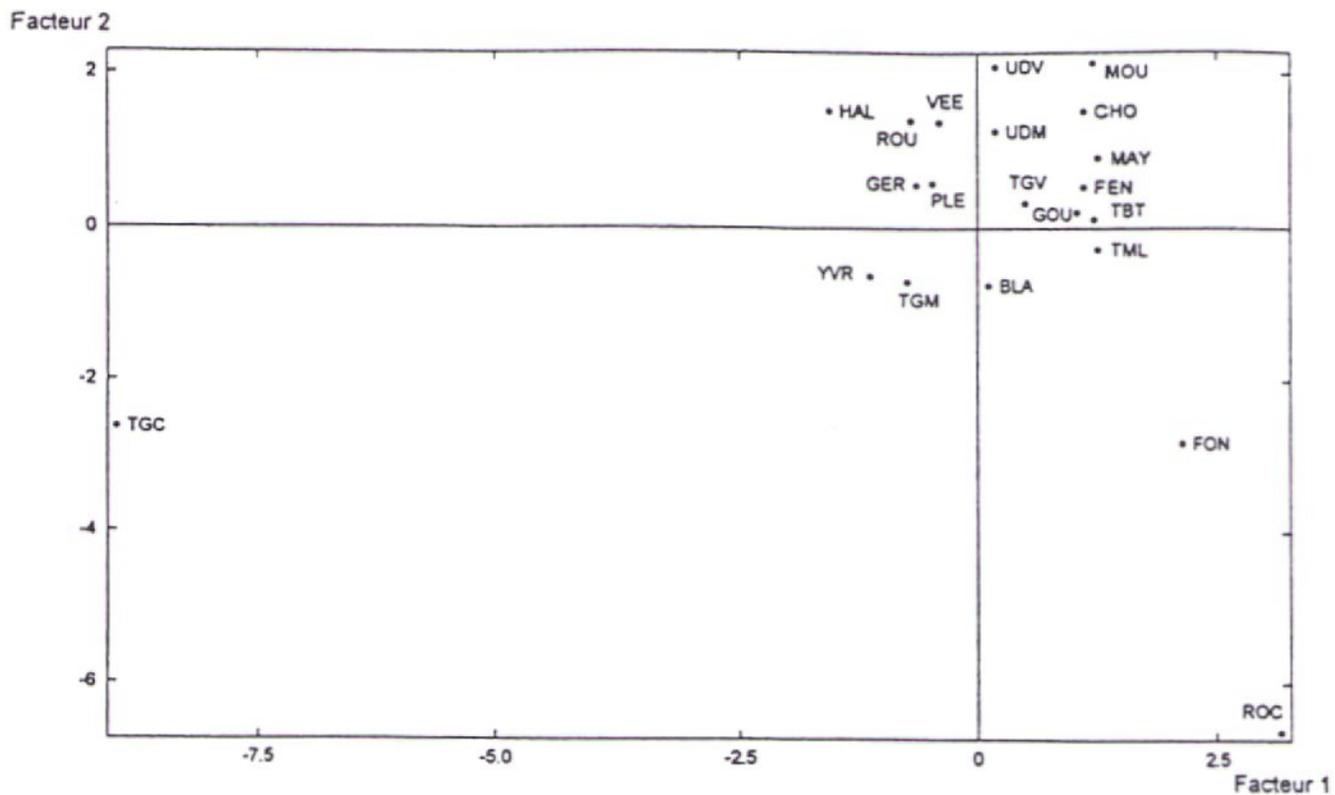


Figure 44 A : Plan factoriel F1xF2 des individus de l'ACP Macrophytes de la phase 3, sans sélection des individus ou des variables.

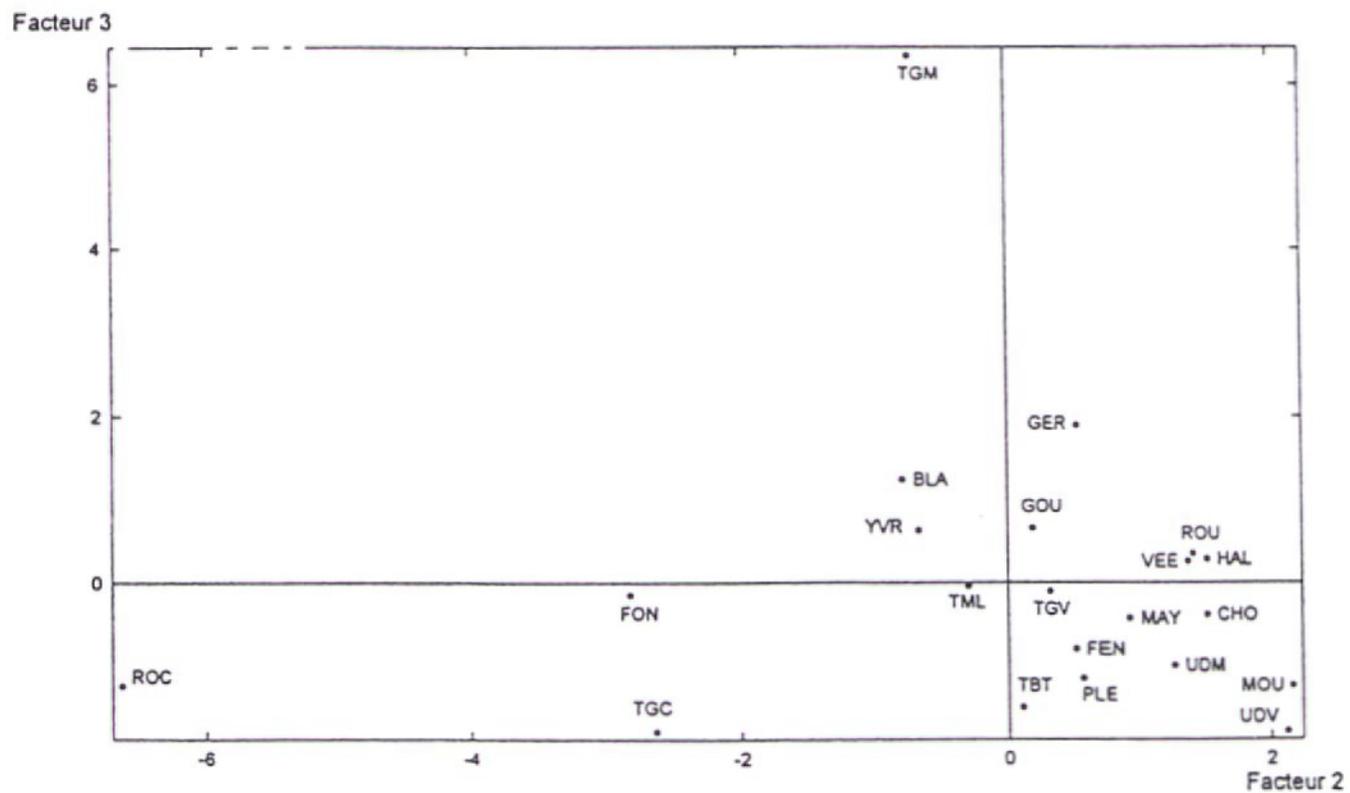


Figure 44 B : Plan factoriel F2xF3 des individus de l'ACP Macrophytes de la phase 3, sans sélection des individus ou des variables

413 - Macrophytes et végétation ripicole

4131 - Description générale

Au niveau de la flore aquatique, les macrophytes du lit montrent certaines évolutions :

- disparition de *Potamogeton crispus* et de *Elodea canadensis* dans la Rouvre,
- apparition très localisée de *Scapania undulata* dans la Halouze et le Moulin Lassue,
- disparition de *S. undulata* de l'Yvrandes,
- très forte régression du cresson, *Nasturtium officinale* sur la Plesse.

Les peuplements macrophytiques ont également subi diverses évolutions : une nette régression a accompagné le développement de la ripisylve sur le Moulin Lassue et le Grand Etinoux aval, mais surtout la Rouvre. En revanche, des développements notables des macrophytes dans les secteurs réaménagés ou non de l'Udon ont été observés, correspondant à la recolonisation des rochers puis des secteurs courants, radiers et plats courants, de ce ruisseau.

Au niveau des berges, le fort développement de la ripisylve a affecté le Grand Etinoux amont, dont l'essentiel des secteurs courants se trouvent désormais très ombragés. En revanche, la composition floristique des berges ne semble pas avoir beaucoup évolué depuis 1994. Il existe donc de fortes disparités d'évolution en fonction des sous-ensembles mésologiques des cours d'eau.

4132 - Analyse multidimensionnelle

Première A.C.P. avec toutes les stations et toutes les variables

L'examen de l'histogramme des valeurs propres fait apparaître que la seconde rupture dans la décroissance des valeurs propres intervient après le troisième axe. Les trois premiers axes portent 52, % de l'inertie totale.

Les individus (Figures 44 A et B)

On constate que le plan factoriel F1XF2 est fortement influencé par deux stations, le Tilleul au Gué Chartier sur l'axe 1 (contribution de 72,4 %) et le Roche Elie sur l'axe 2 (contribution de 55,8 %), mais aussi, dans une moindre mesure, la Fontaine au Héron (9,7 %). Le troisième axe est principalement influencé par le Tilleul au Grand Etinoux amont (contribution de 69,5 %).

Les variables (Figures 45 A et B)

Ranunculus spp., *Vaucheria* sp., *Melosira* sp., *Callitriche hamulata* sont fortement corrélés au facteur 1. Ces taxons sont particulièrement abondant au Tilleul au Gué Chartier ou uniquement présent dans cette station comme c'est le cas de *Melosira* sp.

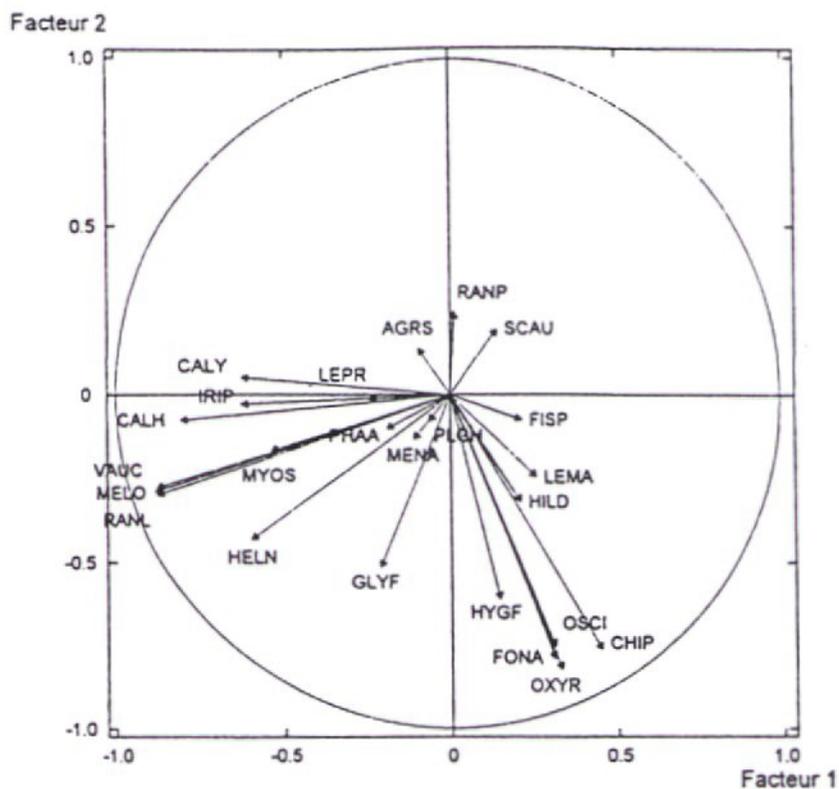


Figure 45A : Plan factoriel F1xF2 des variables de l'ACP Macrophytes de la phase 3, sans sélection des individus ou des variables.

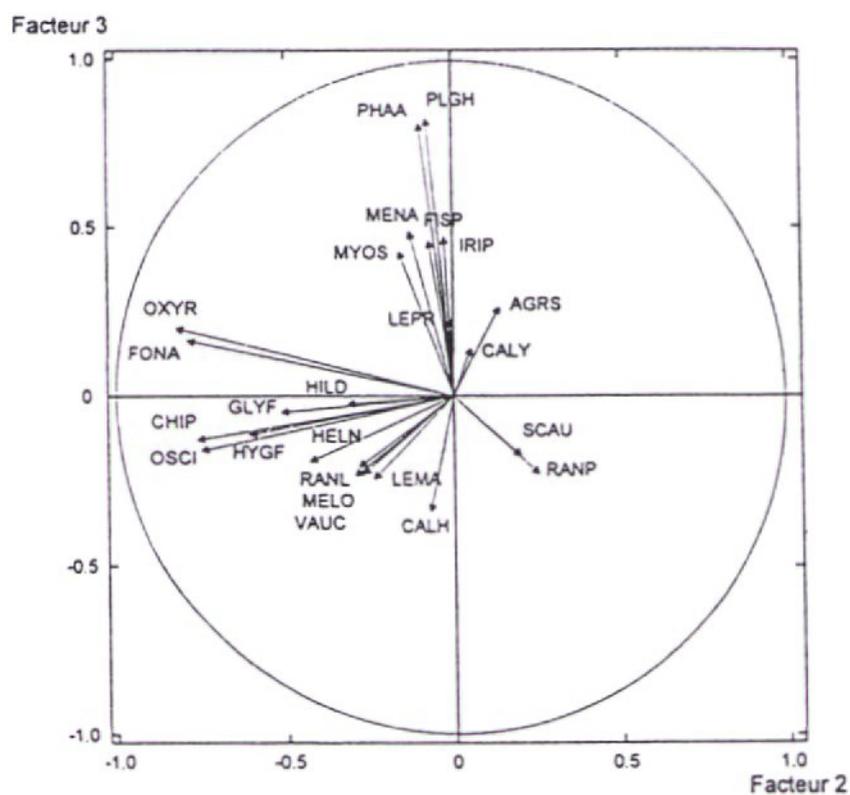


Figure 45B : Plan factoriel F2xF3 des variables de l'ACP Macrophytes de la phase 3, sans sélection des individus ou des variables

Les variables (Figures 45 A et B)

Ranunculus spp., *Vaucheria* sp., *Melosira* sp., *Callitriche hamulata* sont fortement corrélés au facteur 1. Ces taxons sont particulièrement abondant au Tilleul au Gué Chartier ou uniquement présent dans cette station comme c'est le cas de *Melosira* sp.

Oxyrrhynchium rusciforme, *Fontinalis antipyretica*, *Chiloscyphus polyanthus*, et la Cyanophycée *Oscillatoria* sont fortement corrélés à l'axe 2. Ces taxons sont particulièrement bien représentés sur le Roche Elie.

Polygonum hydropiper et *Phalaris arundinacea* sont liés à l'axe 3. *P. hydropiper* n'est présent que sur le Tilleul au Grand Etinoux amont et c'est sur cette station que *P. arundinacea* est le plus représenté.

Seconde ACP avec sélection des stations et des espèces

Les stations du Tilleul au Gué Chartier, au Grand Etinoux amont et du Roche Elie influencent considérablement l'analyse précédente et gênent l'étude du reste des cours d'eau. Leur particularité étant mise en évidence, il est souhaitable de réaliser une nouvelle ACP en omettant ces stations. Ne sont conservées par ailleurs que les variables dont la fréquence absolue est supérieure ou égale à quatre. En outre des variables continues illustratives relatives à la mésologie et à la chimie de l'eau sont introduites.

L'examen de l'histogramme des valeurs propres montre que la structure des données est bidimensionnelle, les deux premiers axes représentant 41,8 % de l'inertie, voire tridimensionnelle (56,2 %).

Les individus (Figure 46)

L'axe 1 oppose la Blandinière (contribution de 14,2 %), la Fontaine au héron (11,2), la Gourbe (13,1) et le Gérard (9,1), à l'Udon aval (11,2), la Plesse (11,5) et le Grand Etinoux aval (10,0 %).

L'axe 2 oppose la Fontaine au héron (22,4) et le Tilleul au Grand Etinoux aval (9,4), à la Halouze (32,0), au Gérard (14,5) et à la Vée (10,9).

Les variables (Figure 47) :

L'axe 1 est marqué par les bryophytes (*Fissidens pusillus*, *Chiloscyphus polyanthos*, *Hygroamblystegium fluviatile*), développés en milieu à écoulement turbulent et riche en blocs, qui s'opposent à *Ranunculus* sp. (RANT), aux galets et à un écoulement lisse : cet axe prend donc une signification d'hydrodynamisme.

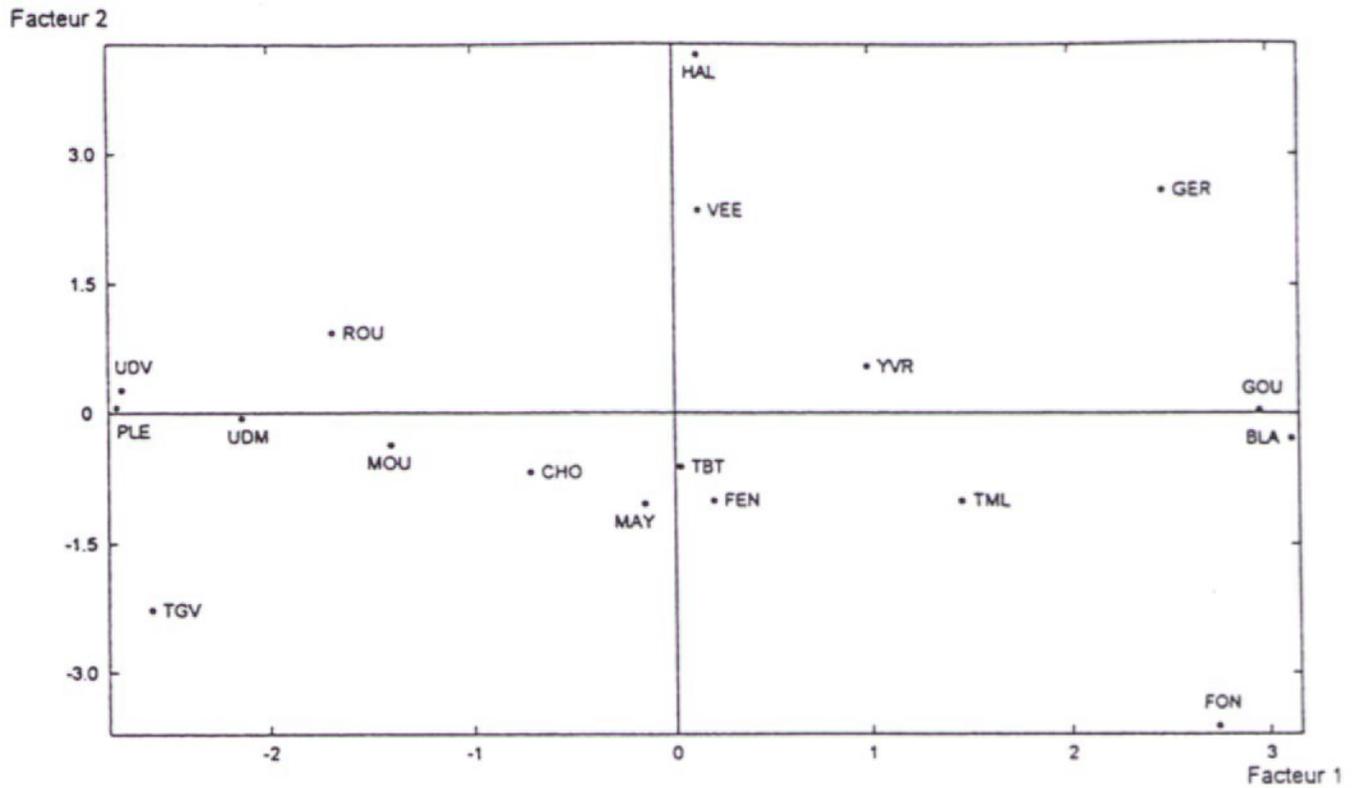


Figure 46 : Plan factoriel F1xF2 des individus de la seconde ACP Macrophytes de la phase 3, sans le Gué Chartier, le Grand Etinoux amont et le Roche Elie, et sans les espèces présentes moins de 4 fois.

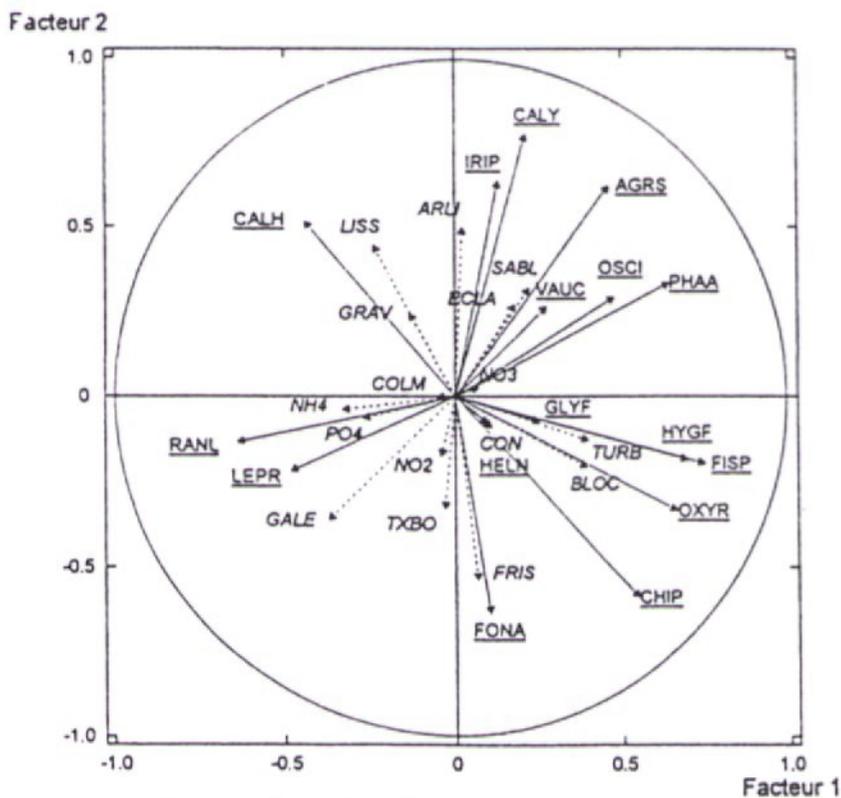


Figure 47 : Plan factoriel F1xF2 des variables de la seconde ACP Macrophytes de la phase 3, sans le Gué Chartier, le Grand Etinoux amont et le Roche Elie, et sans les espèces présentes moins de 4 fois. Les variables actives sont soulignées.

L'axe 2 marque une opposition entre les bryophytes et les spermatophytes (*Agrostis stolonifera*, *Iris pseudacorus*, *Callitriche hamulata* et surtout *Callitriche platycarpa*). Ces oppositions sont expliquées par le gradient granulométrique et hydrodynamique.

En résumé, les oppositions classiques entre végétation sciaphile et rhéophile dominée par des bryophytes et groupements héliophiles moins inféodés au courant et piégeant les sédiments sont les phénomènes dominants lorsque les particularités floristiques des sites sont gommées.

414 - Invertébrés benthiques

4141 - Analyse d'ensemble et évolution par rapport à la phase 2

L'évolution des I.B.G.N. entre 1994 et 1997 montre une légère dégradation : dans 14 cas, on observe une baisse, dans 3, un maintien et dans 2 cas une hausse.

Les trois cas où l'on observe une nette dégradation sont résumés dans le **tableau XIII**

Tableau XIII : Evolution majeure des I.B.G.N. entre 1994 et 1997

| <u>STATIONS</u> | <u>I.B.G.N. (/20) 1994-1997</u> | <u>Groupe indicateur/9</u> | <u>Nombre de taxons</u> |
|---------------------------|---------------------------------|----------------------------|-------------------------|
| Blandinière | 20 - 14 | 8 - 7 | 45 - 27 |
| Plesse | 19 - 14 | 7 - 7 | 47 - 32 |
| Grand Etinoux aval | 16 - 12 | 7 - 4 | 33 - 32 |

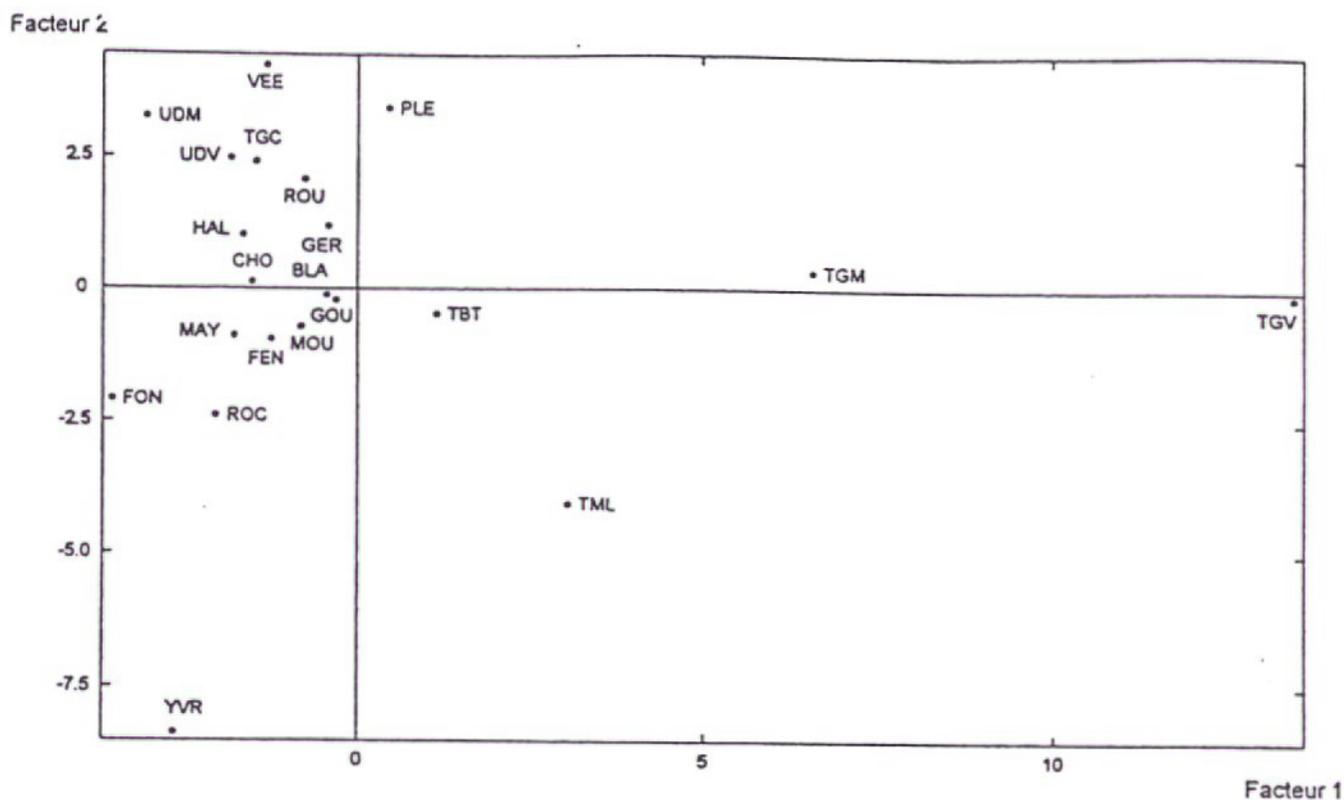
Dans les deux premiers cas, le colmatage des fonds par des sédiments fins se traduit par une dégradation de l'habitat (due aux étangs pour la Blandinière, à l'éboulement des berges ? pour la Plesse ou à des travaux en amont). Ce colmatage entraîne une nette baisse de richesse spécifique sans que le groupe indicateur soit trop affecté.

En revanche, pour le Grand Etinoux aval, on retrouve une note comparable à celle du Grand Etinoux amont (10), le 16 antérieur étant assuré par 3 larves de Leuctridae (plécoptères - groupe indicateur de 7) présentes sur un habitat très courant mais très peu représenté dans la station; en revanche en 1997, cet habitat était colonisé par des spongiaires, tout en ayant gardé un caractère courant, et l'on retrouve des groupes indicateurs plus conformes à la qualité de l'eau.

L'effet du réaménagement de l'Udon après recalibrage donne toujours un léger avantage au secteur réaménagé (17 contre 16), mais la variété spécifique s'est équilibrée entre les deux stations, alors qu'elle était meilleure en secteur réaménagé en 1994 : le réaménagement a eu un impact positif seulement temporaire sur l'habitat des invertébrés.

Enfin, de façon générale, on observe plutôt une augmentation des taxons indicateurs de charge organique, Erpobdellidae et Glossiphonidae (sangues) et Asellidae (crustacés), très spécialement sur le Tilleul au Grand Etinoux, mais aussi sur la Rouvre, la Plesse et la Fontaine-au-Héron, quoique de façon moins nette.

Du point de vue de l'échantillonnage, la plus grande variété observée en 1994 dans les racines d'aulnes (15 cas sur 20) n'est plus aussi nette en 1997 (vérifiée dans 9 cas sur 21). En fait, sachant qu'il s'agit d'habitats situés près des rives, ces racines d'aulnes sont souvent très affectées par le colmatage : il serait nécessaire de ne considérer ce substrat qu'en milieu très courant (radier ou rapide), ce qui n'a pas été le cas dans toutes les stations. Une analyse détaillée des résultats devrait permettre de mieux orienter des échantillonnages moins lourds.



Figures 48A : Plan factoriel F1x2 des individus de l'ACP totale Invertébrés-phase 3.

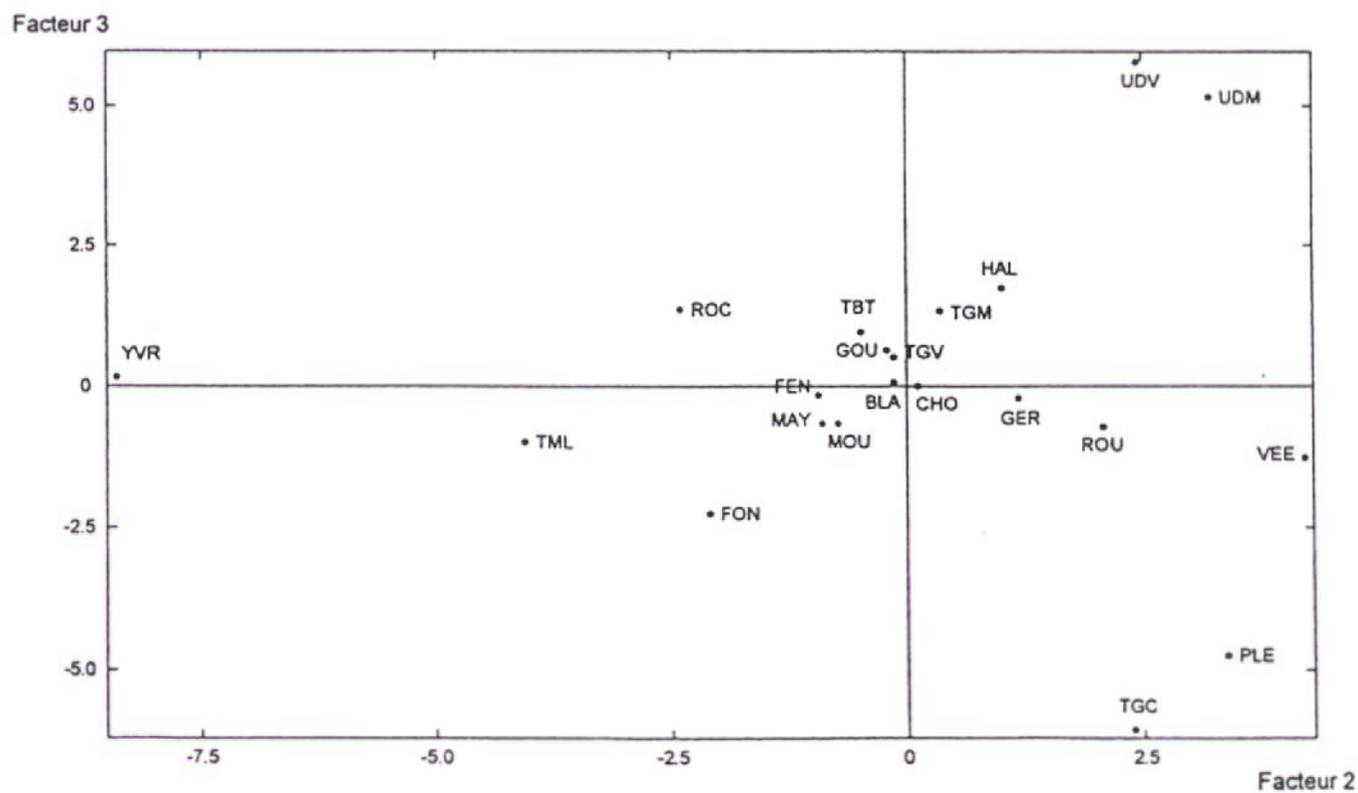


Figure 48B : Plan factoriel F2x3 des individus de l'ACP totale Invertébrés-phase 3.

4132 - Analyse multidimensionnelle sur tous les taxons,, avec variables environnementales illustratives

L'examen de l'histogramme des valeurs propres incite à étudier les deux premiers plans factoriels, les trois premiers axes cumulant 37 % de l'inertie totale du nuage.

Les individus (Figures 48A et 48B)

L'axe 1 est fortement influencé par les deux stations du Tilleul au Grand Etinoux (contribution de 63,3 % pour l'aval et de 15,1 % pour l'amont), par celle du Moulin Lassue (3,2 %), auxquelles s'opposent celles de l'Yvrande (2,4 %), de l'Udon amont (3,2 %) et de la Fontaine au Héron (4,3 %).

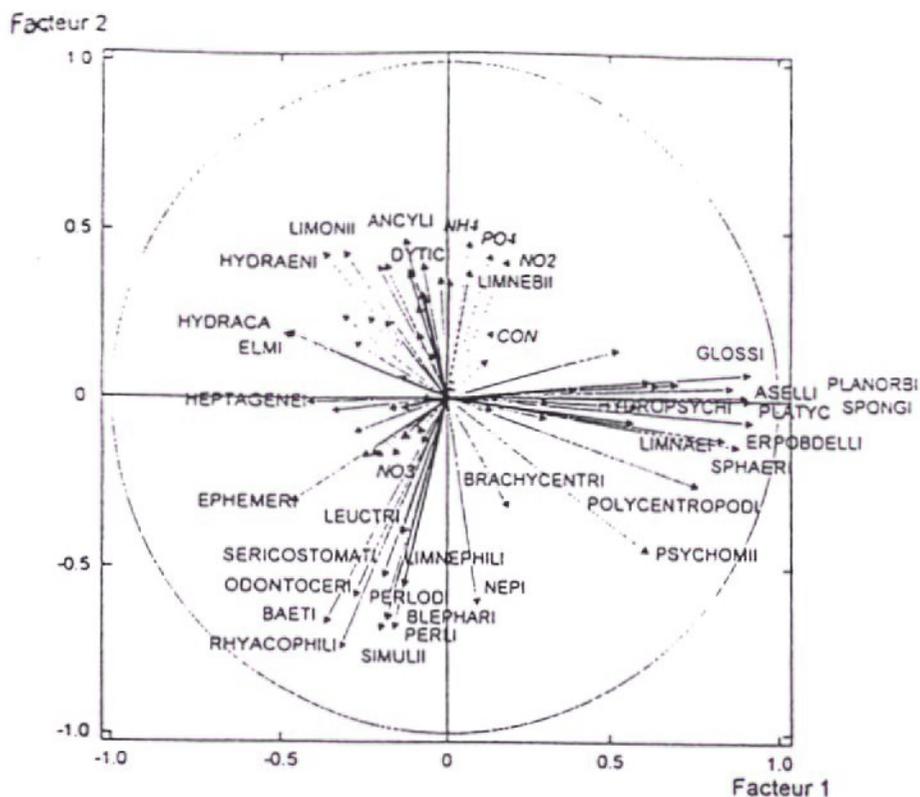
L'axe 2 oppose l'Yvrande (contribution de 44,8 %) et dans une moindre mesure le Tilleul au Moulin Lassue (10,3 %), à l'Udon amont (6,6 %), la Plesse (7,3 %) et la Vée (11,3 %).

L'axe3 oppose les stations de l'Udon aval (contribution de 24,7 %) et amont (19,4 %) au Tilleul au Gué Chartier (26,8 %) et à la Plesse (16,5 %).

Les variables (Figures 49A et B)

La partie négative de **l'axe 1** est caractérisée par les Ephéméroptères Ephemeridae, Heptageneidae et Baetidae, par les Coléoptères Hydraenidae et Elmidae, par les Hydracariens et par les Crustacés Gammaridae. La principale variable illustrative de cette partie de l'axe est SUNU (sols nus). De fait, la plupart de ces taxons, brouteurs de périphyton et racleurs de substrats, présentent une affinité marquée pour les substrats caillouteux. On peut, cependant, s'interroger sur la présence des Gammaridae généralement liée à un développement important de la végétation. Ces Crustacés sont en particulier trouvés en très grand nombre à la Fontaine au Héron.

La partie positive de l'axe est marquée par la présence des Mollusques Sphaeridae et Planorbidae, des Crustacés Asellidae, des Spongiaires, des Odonates Platycnemididae et des Achètes Glossiphonidae et Erpobdellidae. Ces deux derniers taxons, ainsi que les Asellidae, sont révélateurs d'un milieu riche en matières organiques. Les variables illustratives de cette partie de l'axe sont principalement le colmatage et le grand développement des bryophytes. Les substrats meubles conviennent en particulier aux Sphaeridae et aux Asellidae. Les bryophytes, peu importantes en elles-mêmes sur le plan nutritif, constituent un milieu stable, offrant une grande variété de niches écologiques et des potentialités trophiques importantes en constituant une surface de développement au périphyton (d'où la présence des Planorbidae) et d'accumulation de débris organiques (BEISEL, 1996).



Figures 49A : Plan factoriel F1xF2 des variables de l'ACP totale Invertébrés-phase 3, avec les variables environnementales illustratives.

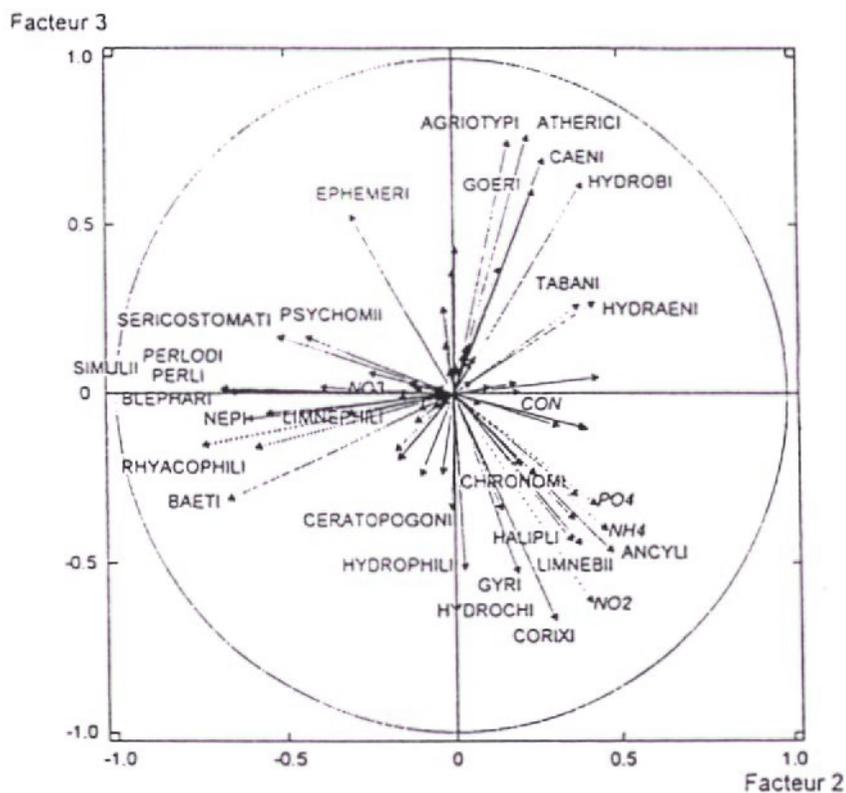


Figure 49B : Plan factoriel F2xF3 des variables de l'ACP totale Invertébrés-phase 3, avec les variables environnementales illustratives.

La partie négative de l'axe 2 est marquée par la présence des Rhyacophilidae, Blephariceridae, Baetidae, Nepidae, des Plécoptères Perlidae et Perlodidae révélateurs d'une bonne qualité physico-chimique des eaux, ainsi que des Simuliidae caractéristiques d'eaux claires et rapides. Les variables illustratives principales de cette partie de l'axe sont une granulométrie grossière (BLOC) associée à un écoulement de type turbulent (TURB) assurant une bonne oxygénation de l'eau, et la présence d'hélophytes (HELO). Tous les taxons constitutifs de cette partie de l'axe sont rhéophiles et présentent une affinité marquée pour les substrats grossiers, à l'exception des Nepidae, présents uniquement sur l'Yvrande et le Moulin Lassue, plutôt limnophiles et généralement retrouvés sur les macrophytes, et qui pourraient trouver refuge au sein des hélophytes.

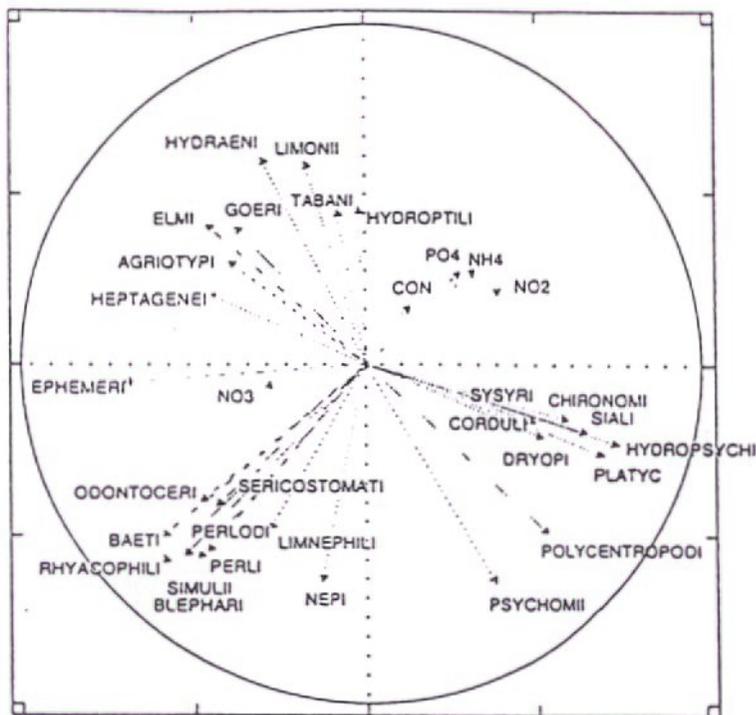
La partie positive de l'axe est caractérisée par les Tabanidae, les Gastéropodes Hydrobiidae et Ancylidae, les Dyticidae, les Hydroptilidae, les Hydraenidae et les Limoniidae. Les principales variables illustratives de cette partie de l'axe sont un écoulement de type lisse (LISS), une granulométrie représentée essentiellement par les graviers (GRAV) et des taux importants d'ammonium, de phosphates et de nitrites.

Il semble donc que cet axe 2 corresponde à un gradient de qualité physico-chimique de l'eau.

La partie négative de l'axe 3 est caractérisée par la présence de nombreux Coléoptères (Hydrochidae, Gyridae, Hydrophilidae, Limnebiidae et Haliplidae), par les Gastéropodes Ancylidae et les Hétéroptères Corixidae. Les principales variables illustratives sont le développement des hydrophytes, les taux de nitrites principalement, mais aussi d'ammonium et de phosphates, une granulométrie à base de galets et le colmatage. La plupart des taxons précités sont dépendant des macrophytes, en l'occurrence des hydrophytes, soit comme substrat, soit comme source de nourriture. Selon BEISEL (1996), les hydrophytes constituent un milieu particulièrement favorable aux invertébrés benthiques. Par ailleurs, il semble que les différents taxons constitutifs de cette partie de l'axe sont peu exigeants vis à vis de la qualité physico-chimique de l'eau.

La partie positive de l'axe est marquée par les Athericidae, les Agriotypidae, les Caenidae, les Hydrobiidae, les Goeridae, les Ephemeridae et les Lepidostomatidae. Les variables illustratives principales sont les sols nus (SUNU) et surtout la profondeur (PRFD). Les Lepidostomatidae sont généralement retrouvés dans des milieux profonds (>30 cm) d'après BEISEL (1996), mais cet auteur considère que peu de taxons se distribuent en fonction de la hauteur d'eau. Enfin sur le plan du fonctionnement trophique, la présence des Hyménoptères Agriotypidae est à mettre en relation avec celle des Goeridae qui en constituent une proie préférentielle.

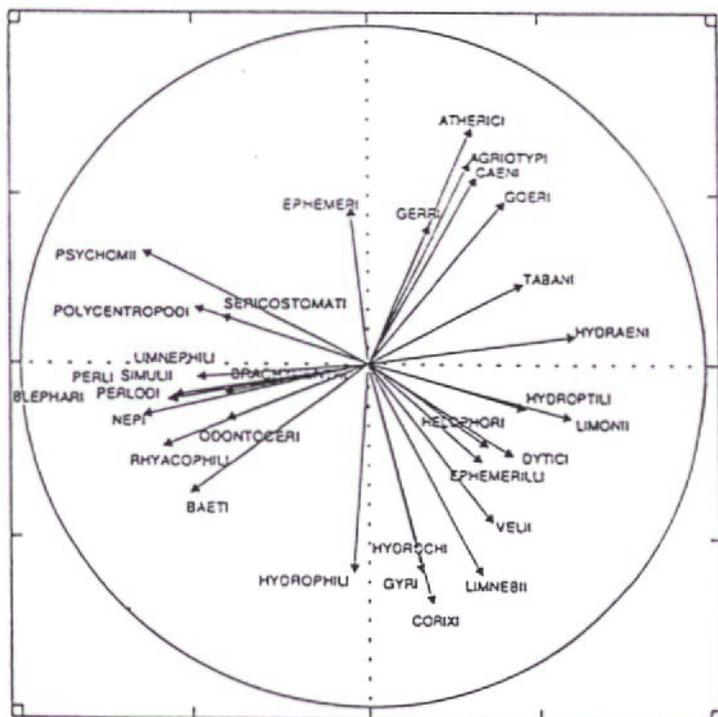
Facteur 2



Facteur 1

Figure 50A : Plan factoriel F1xF2 des variables de l'ACP restreinte Invertébrés-phase 3.

Facteur 3



Facteur 2

Figure 50B : Plan factoriel F2xF3 des variables de l'ACP restreinte Invertébrés-phase 3.

4133 - Analyse multidimensionnelle sur sélection des invertébrés

Les données traitées par A.C.P. font apparaître une structure tri-dimensionnelle, les trois premiers axes portant 34,8 % de l'inertie totale.

Les variables (Figures 50 A et B)

Les plans factoriels des variables actives sont enrichis par les variables illustratives de chimie qui mettent ou non en évidence les relations chimie-invertébrés.

L'axe 1 oppose les Chironomidae, Sialidae, Hydropsychidae et Platycnemididae aux Epheméridae, ces derniers semblant corrélés aux nitrates. Il semblerait que ce premier axe correspondrait (au moins partiellement) à un axe de pollution organique, les Sialidae étant inféodés aux matières organiques, et les Hydropsychidae étant des filtreurs-collecteurs de plancton.

L'axe 2 oppose les Limoniidae, Hydraenidae, Tabanidae et Hydroptilidae aux Nepidae.

Sur le quadrant défini par les parties positives des axes 1 et 2, les paramètres traduisant l'essentiel de la pollution, mais également la minéralisation, s'opposent, dans le quadrant défini par les parties des axes 1 et 2, aux taxons rhéophiles Rhyacophilidae Baetidae, Perlidae, Perlodidae, Blepharidae.

Sur l'axe 3, les Caenidae, Athericidae, Agriotypidae et Goeridae, et Epheméridae s'opposent aux Hydrophilidae, Hydrochidae, Gyridae, Corixidae.

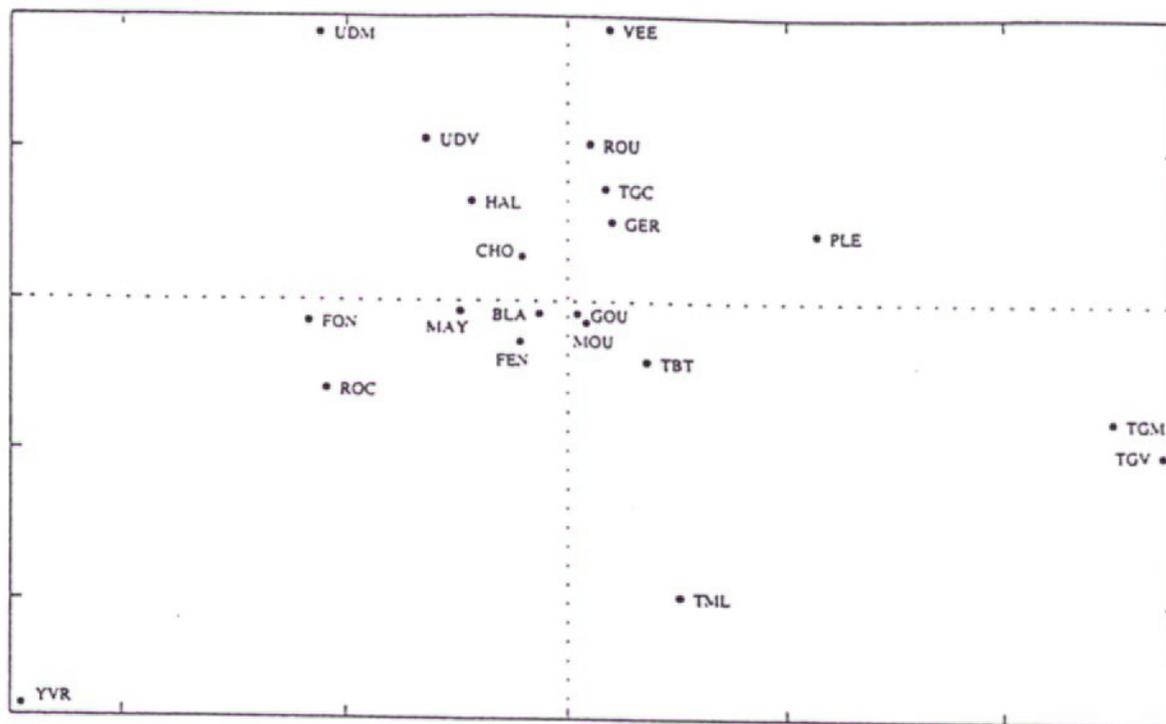
Les individus (Figures 51 A et B)

L'axe 1 est essentiellement dû à trois stations : le Tilleul au Grand Etinoux amont (contribution de 23,6 %) et aval (28,2 %) qui s'opposent à l'Yvrande (23,2 %), ce qui corrobore l'interprétation d'axe de qualité d'eau, posé avec les variables.

L'axe 2 est surtout constitué par l'Yvrande (31,5 %) et le Tilleul au Moulin Lassue (16,6 %) qui s'opposent aux stations de la Vée (13,6 %) et de l'Udon amont (13,0 %) : il semble que ce second axe corresponde aux caractéristiques d'écoulement.

L'axe 3 oppose le Gué Chartier (35,2 %) aux stations de l'Udon amont et aval (respectivement 13,9 et 14,2 %), ce qui correspondrait à la végétalisation des stations.

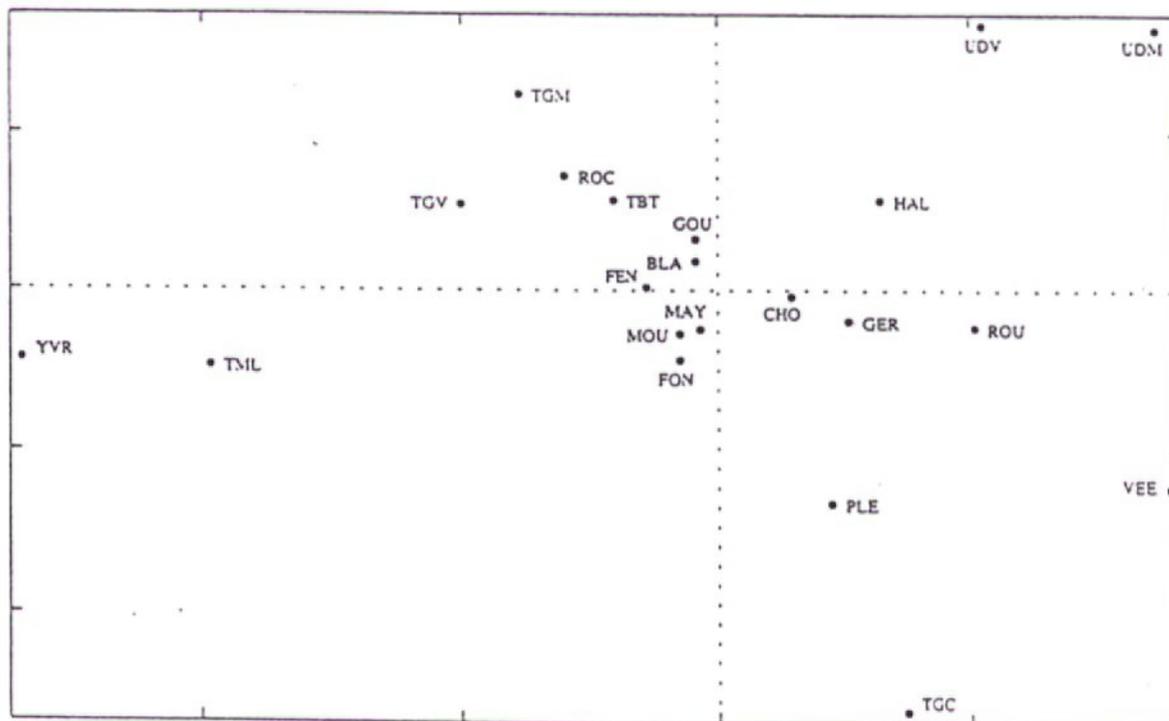
Facteur 2



Facteur 1

Figure 51A : Plan factoriel F1xF2 des individus de l'ACP restreinte Invertébrés de la phase 3.

Facteur 3



Facteur 2

Figure 51B : Plan factoriel F2xF3 des individus de l'ACP restreinte Invertébrés de la phase 3.

415 - Poissons

4151 - Données générales

Au niveau des poissons, plusieurs types de stations apparaissent :

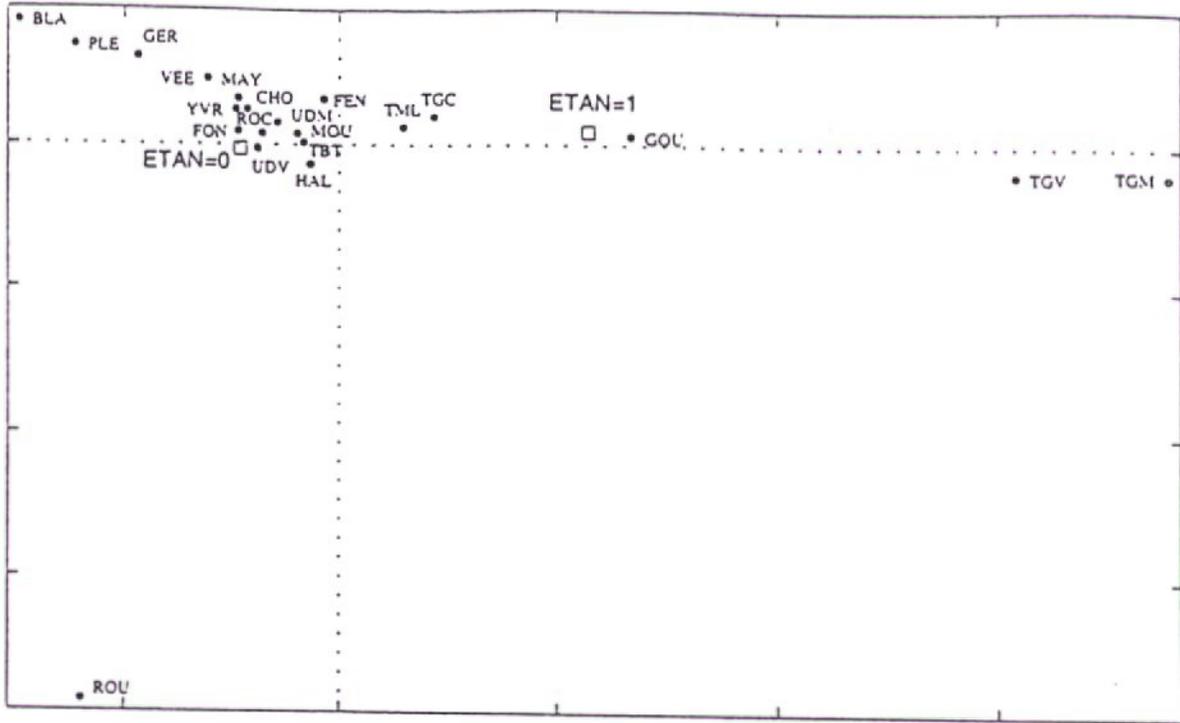
- Des stations ont des populations importantes de truites, et pas d'espèces de niveau typologique anormal : la Fontaine-au-Héron (90 ind./100 m²) où le chabot manque, l'Yvrande (65 ind./100 m²) à peuplement équilibré;
- Quelques stations ont des populations moindres : la Mousse, forestière et peu productive (25 ind./100 m²), le Choisel (19 ind./100 m²), très ombragé où l'on trouve l'Ecrevisse à pieds blancs, *Austropotamobius pallipes* (33 ind./100 m²), le Roche Elie (20 ind./100 m²), la Halouze (16 ind./100 m²) qui possède également de l'écrevisse à pieds blancs, et correspond à un cours d'eau de plus grande taille, mais aussi la Plesse (33 ind./100 m²), secteur anciennement recalibré où les populations de chabots sont très importantes (166 ind./100 m²) malgré un colmatage conséquent;
- Quelques stations ont également des populations importantes à moyennes mais ont des compositions spécifiques témoignant de la proximité d'étangs : la Mayenne (68 ind./100 m²), secteur très ombragé et anciennement recalibré où la récupération semble parfaite, la présence d'un gardon témoignant de la connexion ancienne entre le ruisseau et un étang, désormais en dérivation, si bien que les géniteurs pêchés provenaient de l'aval du cours d'eau grâce à la restauration des possibilités de migration, la Fendrie (40 ind./100 m²) où la perche est anormale,
- Plusieurs stations ont des populations de truites réduites, correspondant à des situations de perturbations et/ou de non alevinage : la Gourbe (1 ind./100 m²), malgré la présence d'écrevisse à pieds blancs, qui est barrée par des étangs, d'où la présence de perche, la Vée (3 ind./100 m²), toujours très colmatée, le Gérard (7 ind./100 m²) également colmaté où l'on trouve du brochet, les deux stations de l'Udon réaménagée et non réaménagée (6 et 10 ind./100 m²), où le réaménagement semble favoriser les poissons plus stagnophiles, perche, vandoise et carpe commune, et les deux stations aval du Tilleul, Moulin Lassue (7 ind./100 m²) mais présence de perche et de gardon, et Bois du Triage (4 ind./100 m²);
- Enfin, 4 stations sont très dégradées : les deux stations du Grand Etinoux, qui n'ont plus de truites mais des perches et des chevaines, la Rouvre (1 ind./100 m²), où l'on voit réapparaître l'épinochette et la vandoise, alors que le milieu se ferme et, dans une moindre mesure, le Gué Chartier (7 ind./100 m²), toujours très colmaté, et aux eaux de mauvaise qualité, avec ses loches franches (236 ind./100 m²) et ses gardons (55 ind./100 m²).

4152 - Analyse multidimensionnelle

Première A.C.P. avec toutes les stations et toutes les densités de poissons en actif (Figures 52 à 55)

L'histogramme des valeurs propres de cette première A.C.P. témoigne du caractère essentiellement tridimensionnel des données, les trois premiers axes cumulant 55,4 % de l'inertie totale.

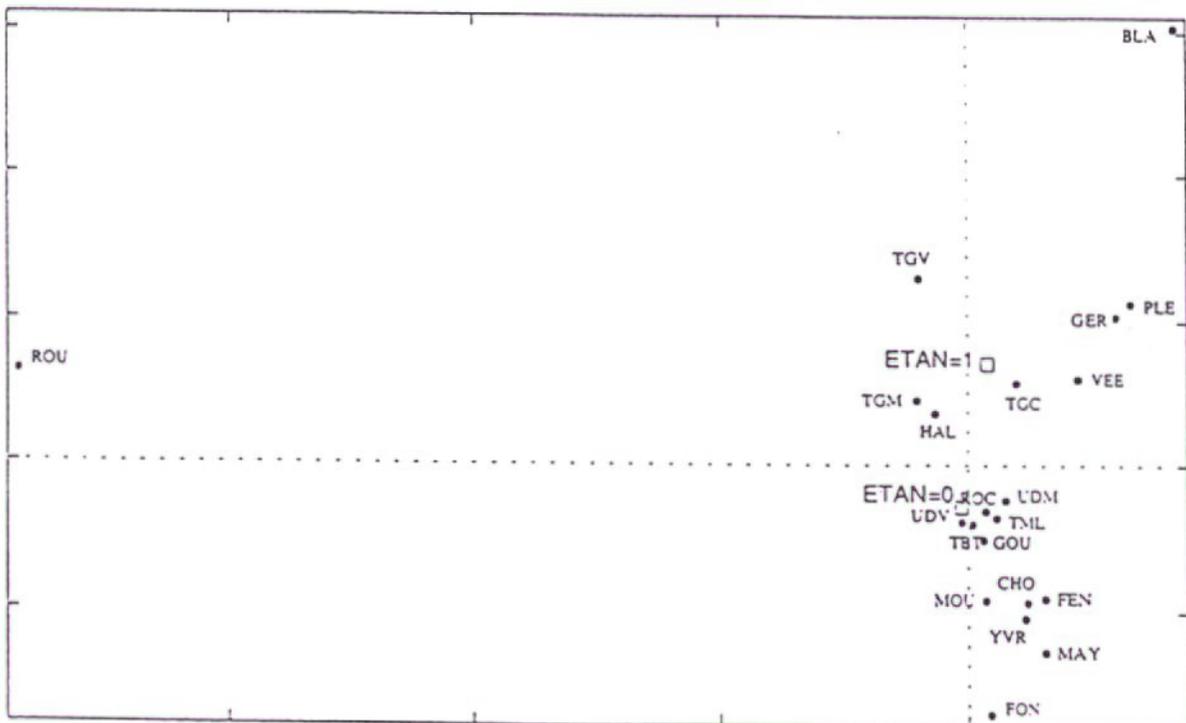
Facteur 2



Facteur 1

Figure 52A : Plan factoriel F1xF2 des individus de l'ACP Poissons de la phase 3.

Facteur 3



Facteur 2

Figure 52B : Plan factoriel F2xF3 des individus de l'ACP Poissons de la phase 3.

Pour les stations, sur l'axe 1, on note d'influence marquée du Grand Etinoux amont (contribution à l'axe de 42,5 %), et aval (28,4 %), de la Gourbe (5,3 %) et, à l'opposé, de la Blandinière (6,7 %), de la Plesse (4,5 %) et de la Rouvre (4,3 %).

Pour les variables, les densités de Chevaîne (Corrélation variable-facteur de 0,91), de Gardon (0,92), de Goujon (0,87) et de Perche (0,70) s'opposent à celles de Chabot (-0,35) de Lamproie de Planer (-0,35) et de Truite fario (-0,30).

Enfin, les variables illustratives modales ou quantitatives montrent que :

- l'axe 1 est décrit par la présence ou l'absence d'étang,
- Les racines et débris végétaux ainsi que les caches offertes par ces structures caractérisent la partie positive de l'axe 1, alors que le nombre de faciès par 100 m linéaires et les caches en sous berge caractérisent sa partie négative.

L'axe 2 est fortement influencé dans sa partie négative par la Rouvre (86,9 %). La partie positive est très peu caractérisée par les stations (maximum la Blandinière : 4,2 %).

Ceci se traduit pour les densités de poissons par une corrélation forte entre la densité d'Epinochette et le facteur 2 (-0,96), la densité d'Anguille (-0,95) et de Vandoise (-0,95). A l'opposé, les densités de Chabot (0,43) et de Lamproie de Planer (0,35) caractérisent la partie positive de cet axe.

Les variables illustratives montrent qu'il s'agit plutôt d'un axe de granulométrie, les substrats fins correspondant à la partie négative de l'axe.

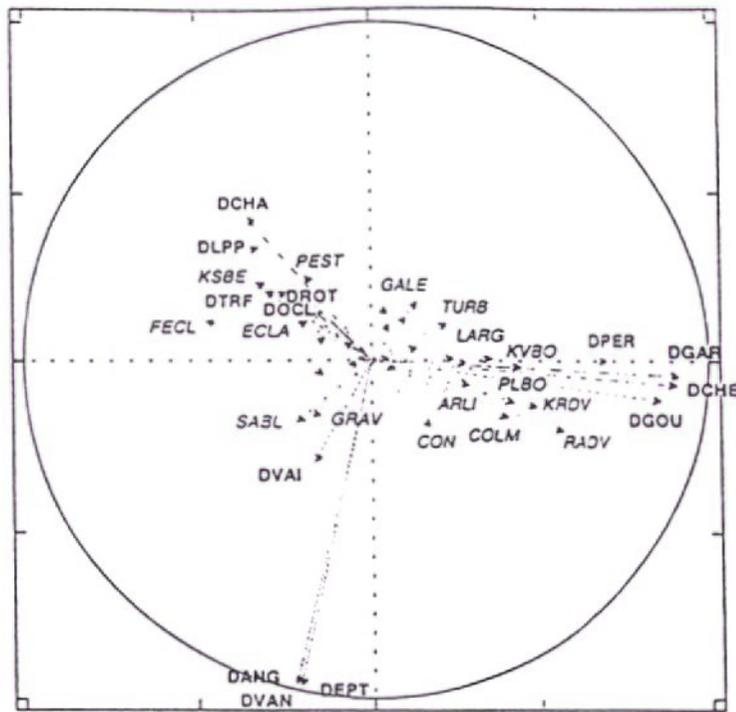
L'axe 3 est influencé, dans sa partie positive, par la Blandinière (38,9 %) et, dans sa partie négative par la Fontaine au Héron (12,4 %).

Pour les variables, les densités de Truite (-0,57) s'opposent aux densités d'Ecrevisse introduite et de Rotengle (0,64), de Vairon (0,61) et de Chabot (0,62), ce qui est tout-à-fait étonnant, car il y a dissociation entre la Truite et deux espèces majeures de son cortège, le Chabot et le Vairon.

Cet axe apparaît lié à la présence ou l'absence d'étang. La projection des variables quantitatives illustratives montre une liaison avec l'écoulement turbulent, la pente, les caches liées aux blocs et la profondeur pour la partie négative, et avec les paramètres de chimie et le colmatage pour la partie positive.

En conclusion, l'axe 1 fait ressortir la particularité du Grand Etinoux avec ses fortes densités de Chevesne, ainsi que de Gardon (surtout à l'aval), ainsi que de Goujon. L'axe 2 est quasiment exclusivement déterminé par les caractéristiques de la Rouvre : la Vandoise est presque exclusivement retrouvée sur cette station, de même que l'Anguille, l'Epinochette n'étant présente que sur cette station. L'axe 3 est très déterminé par la Blandinière, seule station à Ecrevisse introduite et Rotengle. Ces espèces peu représentées influant considérablement les résultats de l'analyse, une seconde ACP a été lancée en ne conservant que les taxons de fréquence absolue > 4.

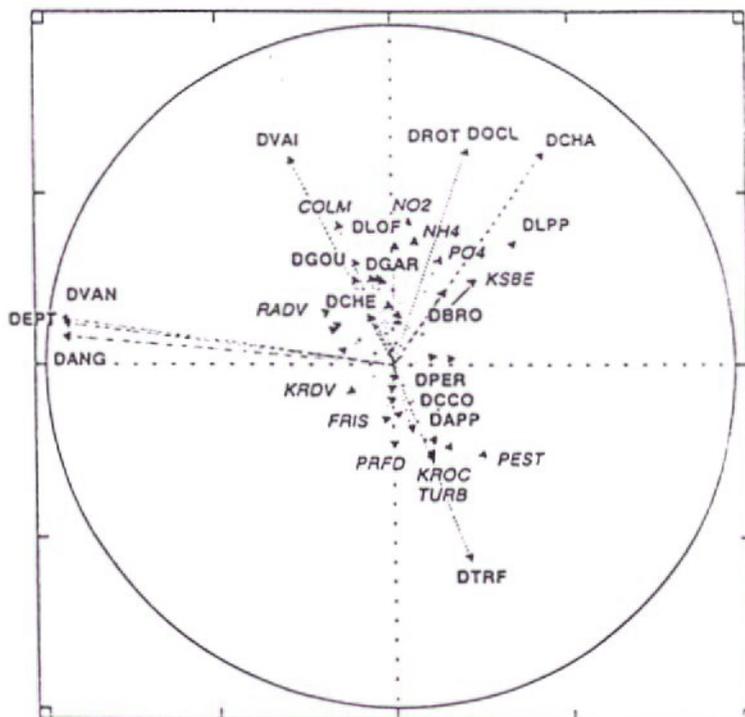
Facteur 2



Facteur 1

Figure 53A : Plan factoriel F1xF2 des variables de l'ACP Poissons de la phase 3.

Facteur 3



Facteur 2

Figure 53B : Plan factoriel F2xF3 des variables de l'ACP Poissons de la phase 3.

Deuxième A.C.P. avec toutes les stations et les densités de poissons à fréquence absolue >4 en actif (Figures 54 et 55)

L'histogramme des valeurs propres traduit une structure bi-dimensionnelle.

L'axe 1 est fortement influencé par le Grand Etinoux amont et aval (44,4 % et 31,8 %), avec une forte corrélation variable-facteur pour le Chevaine (-0,94), le Gardon (-0,94), le Goujon (-0,91) et la Perche (-0,68) qui s'opposent à la Truite fario (+0,42) espèce quasiment absente de ces stations.

Donc cet axe est influencé par la présence des étangs. Il est illustré par les racines et débris végétaux et leurs caches, les plantes bordurières et leurs caches et le colmatage.

Dans sa partie positive, l'axe 2 est caractérisé par la Plesse (22,0 %) qui s'oppose à la Fontaine au Héron (16,7 %). Cet axe est caractérisé par les densités de Chabot (0,70) et de Vairon (0,68) ainsi que de Loche franche (0,47) qui sont opposées à celle de la Truite (-0,54).

La partie positive est illustrée par les variables de pollution NO₂, PO₄, NH₄, ainsi que les écoulements lisses, opposés à la pente, les écoulements turbulents et les blocs.

Les peuplements pisciaires traduisent donc la dissociation entre des ruisseaux à truites « typiques » et des situations très dégradées par des étangs et/ou des pollutions des eaux.

Au sein des ruisseaux typiques, des situations assez différentes apparaissent entre les ruisseaux très riches en truites, mais avec peu d'espèces d'accompagnement et des peuplements plus diversifiés.

42 - Analyse multi-compartiments à l'échelle du segment

Comme pour la phase 2, deux A.F.M. ont été réalisées, la première en prenant en considération tous les groupes d'invertébrés, et la seconde en ne considérant que les familles d'insectes.

421 - Première A.F.M. générale sur l'ensemble des données brutes

4221 - Paramètres généraux de l'A.F.M. générale sur données sélectionnées

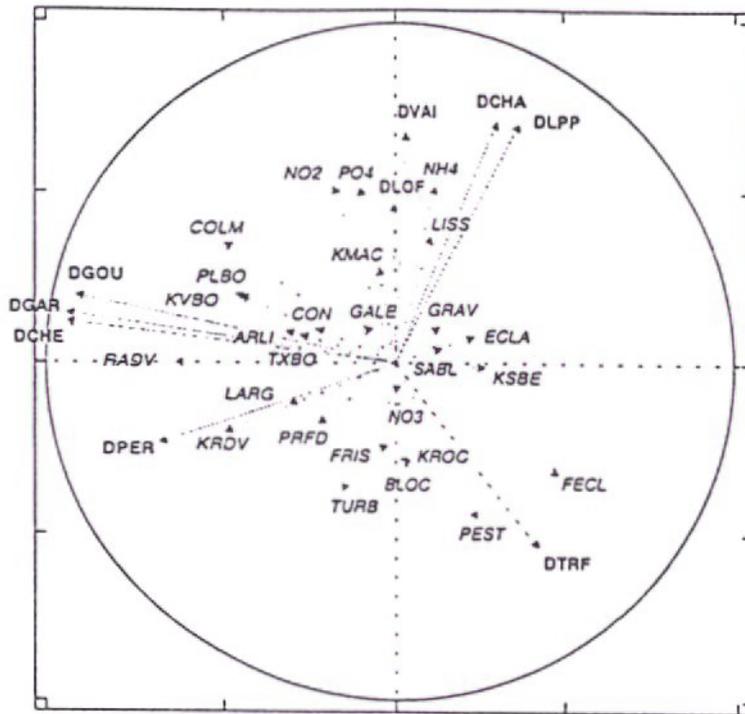
Une A.F.M. prenant en considération toutes les variables actives des ACP séparées met en évidence une structure d'abord bi-dimensionnelle (ou nona-dimensionnelle), les 2 premiers axes cumulant 26,50 % de l'inertie totale, les 5 premiers 50,14 %.

Les paramètres généraux de l'A.F.M. mettent en évidence que seul le premier facteur est commun à l'ensemble des groupes de variables (**Tableau XIVA**). La chimie est mal représentée pour les axes 2 et 3.

4222 - Stations (Figure 56)

Le premier plan factoriel fait ressortir l'originalité des trois stations amont du Tilleul : le Gué Chartier et le Grand Etinoux amont et aval qui contribuent respectivement à 21,6 % (surtout pour les macrophytes et la mésologie), 25,0 % (surtout pour la chimie) et 13,5 % (surtout pour les invertébrés et les poissons) de l'inertie de l'axe 1. Elles se différencient nettement des autres stations, notamment les plus oligotrophes qui contribuent à cet axe en

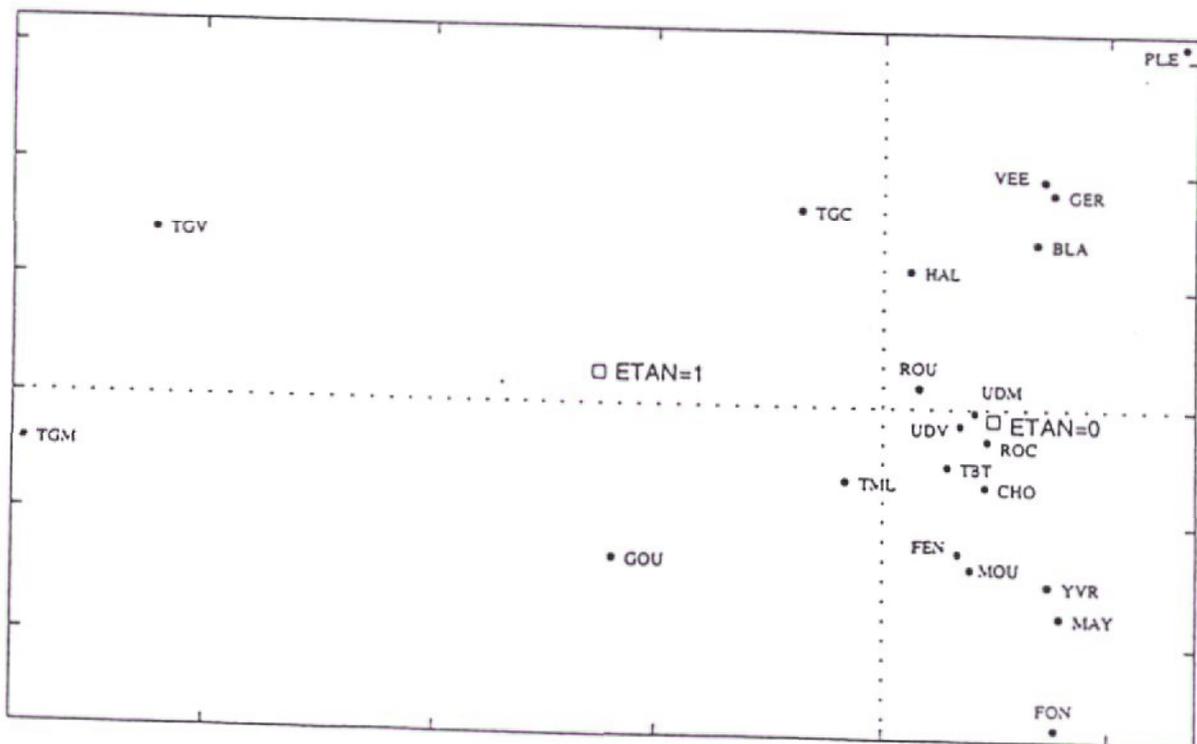
Facteur 2



Facteur 1

Figure 54 : Plan factoriel F1xF2 des variables de la seconde ACP Poissons de la phase 3.

Facteur 2



Facteur 1

Figure 55 : Plan factoriel F1xF2 des individus de seconde ACP Poissons de la phase 3.

définissant sa partie positive : le Roche Elie (10,3 %, profil « équilibré »), l'Yvrandes (7,2 %, pour la mésologie et les macrophytes), la Fendrie (5,2 %, pour la chimie) et la Mousse (4,4 % pour la mésologie et la chimie).

Tableau XIV : Paramètres généraux des deux A.F.M.

A : Paramètres généraux de l'A.F.M. sur l'ensemble des données

| FACTEURS | CORRELATIONS VARIABLES CANONNIQUES/FACTEURS GÉNÉRAUX | | | | |
|------------------------|--|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Groupe 1 (Mésologie) | 0.75 | 0.76 | 0.77 | 0.80 | 0.80 |
| Groupe 2 (Chimie) | 0.72 | 0.46 | 0.41 | 0.71 | 0.21 |
| Groupe 3 (Macrophytes) | 0.89 | 0.84 | 0.83 | 0.71 | 0.85 |
| Groupe 4 (Invertébrés) | 0.89 | 0.91 | 0.93 | 0.90 | 0.91 |
| Groupe 5 (Poissons) | 0.89 | 0.87 | 0.62 | 0.76 | 0.75 |
| | RAPPORTS INERTIE INTER/INERTIE TOTALE | | | | |
| | 0.69 | 0.60 | 0.51 | 0.59 | 0.56 |

B : Paramètres généraux de l'A.F.M. sur données sélectionnées

| FACTEURS | CORRELATIONS VARIABLES CANONNIQUES/FACTEURS GÉNÉRAUX | | | | |
|------------------------|--|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Groupe 1 (Mésologie) | 0.68 | 0.84 | 0.75 | 0.81 | 0.82 |
| Groupe 2 (Chimie) | 0.78 | 0.33 | 0.40 | 0.72 | 0.25 |
| Groupe 3 (Macrophytes) | 0.90 | 0.86 | 0.84 | 0.72 | 0.85 |
| Groupe 4 (Invertébrés) | 0.95 | 0.97 | 0.96 | 0.94 | 0.93 |
| Groupe 5 (Poissons) | 0.86 | 0.90 | 0.60 | 0.72 | 0.75 |
| | RAPPORTS INERTIE INTER/INERTIE TOTALE | | | | |
| | 0.70 | 0.63 | 0.53 | 0.59 | 0.57 |

Facteur 2

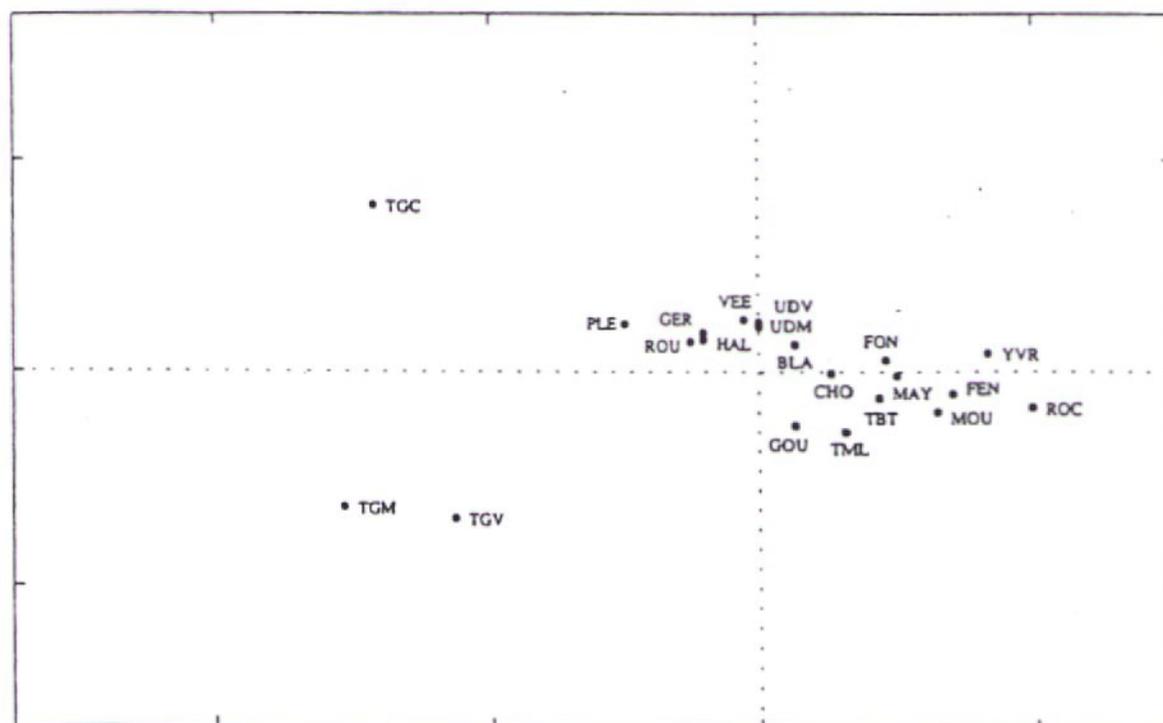


Figure 56 : Plan factoriel F1xF2 des individus de l'AFM totale

Facteur 1

Pour l'axe 2, ces trois stations du Tilleul contribuent à 73,5 %, spécialement pour la mésologie et les macrophytes du Gué Chartier, la chimie et les poissons du Grand Etinoux amont, la chimie et les invertébrés du Grand Etinoux aval.

Ce sont ces trois stations qui ont les plus fortes inerties intra sur les axes 1 et 2, ce qui signifie que leurs compartiments donnent des images assez différentes, marquant ainsi un déséquilibre interne.

4223 - Variables (Figures 57A et B)

Les différents groupes contribuent diversement à l'inertie des facteurs généraux de l'AFM (Tableau XIV C)

Tableau XIV : Contributions cumulées des différents groupes à l'inertie des facteurs pour les deux A.F.M. de la phase 3.

C - A.F.M. générale

| FACTEURS | CONTRIBUTION CUMULEE A L'INERTIE DES FACTEURS (%) | | | | |
|------------------------|---|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Groupe 1 (Mésologie) | 15.9 | 12.6 | 30.0 | 24.1 | 20.5 |
| Groupe 2 (Chimie) | 17.8 | 8.2 | 5.5 | 14.5 | 1.9 |
| Groupe 3 (Macrophytes) | 22.4 | 23.7 | 24.6 | 14.7 | 29.6 |
| Groupe 4 (Invertébrés) | 21.1 | 29.0 | 23.5 | 22.1 | 27.1 |
| Groupe 5 (Poissons) | 22.7 | 26.5 | 16.3 | 24.6 | 20.8 |

D - A.F.M. avec sélection des invertébrés

| FACTEURS | CONTRIBUTION CUMULEE A L'INERTIE DES FACTEURS (%) | | | | |
|------------------------|---|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Groupe 1 (Mésologie) | 13.6 | 12.8 | 24.2 | 23.8 | 20.0 |
| Groupe 2 (Chimie) | 19.8 | 3.6 | 4.8 | 13.3 | 2.3 |
| Groupe 3 (Macrophytes) | 23.8 | 20.5 | 23.2 | 11.3 | 24.0 |
| Groupe 4 (Invertébrés) | 25.3 | 33.7 | 34.5 | 32.8 | 36.5 |
| Groupe 5 (Poissons) | 17.4 | 29.4 | 13.3 | 18.8 | 17.3 |

Sur l'axe 1, les contributions des groupes sont à peu près équilibrées. Les facteurs prépondérants sont :

- pour la mésologie, l'écoulement lisse (3,7 %), les blocs (3,0 %), qui s'opposent au nombre de faciès d'écoulement par 100 m linéaires (2,5 %),
- pour la chimie, les paramètres de pollution : NO₂ (6,7 %), PO₄ (5,7 %), NH₄ (2,2 %) et de minéralisation (conductivité : 3,0 %),
- pour les macrophytes, sur la partie négative, *Leptodictyum riparium* (3,8 %), *Myosotis scorpioides* (2,1 %), *Ranunculus peltatus* (1,9 %), les callitriches, *C. hamulata* (1,3 %) et *C. platycarpa* (1,2 %), *Melosira* sp. (1,5 %) et *Myosotis scorpioides* (2,0 %) qui s'opposent à *Chiloscyphus polyanthos* (1,6 %)
- pour les invertébrés, il y a une opposition entre les Sialidae (1,0 %) et Hydrophyschidae (1,1%), Asellidae et Spongiaires (0,8 %), Corixidae (0,7 %) sur la partie négative de l'axe, et les Ephemeridae (0,7 %), Leuctridae, Sericostomatidae (0,6 %), Rhyacophilidae (0,5 %),
- enfin, pour les poissons, les densités de Loche franche (2,9 %), et surtout de Gardon (5,5 %), de Goujon et de Chevaine (4,9 %), s'opposent aux densités de Truite (2,3 %).

Facteur 2

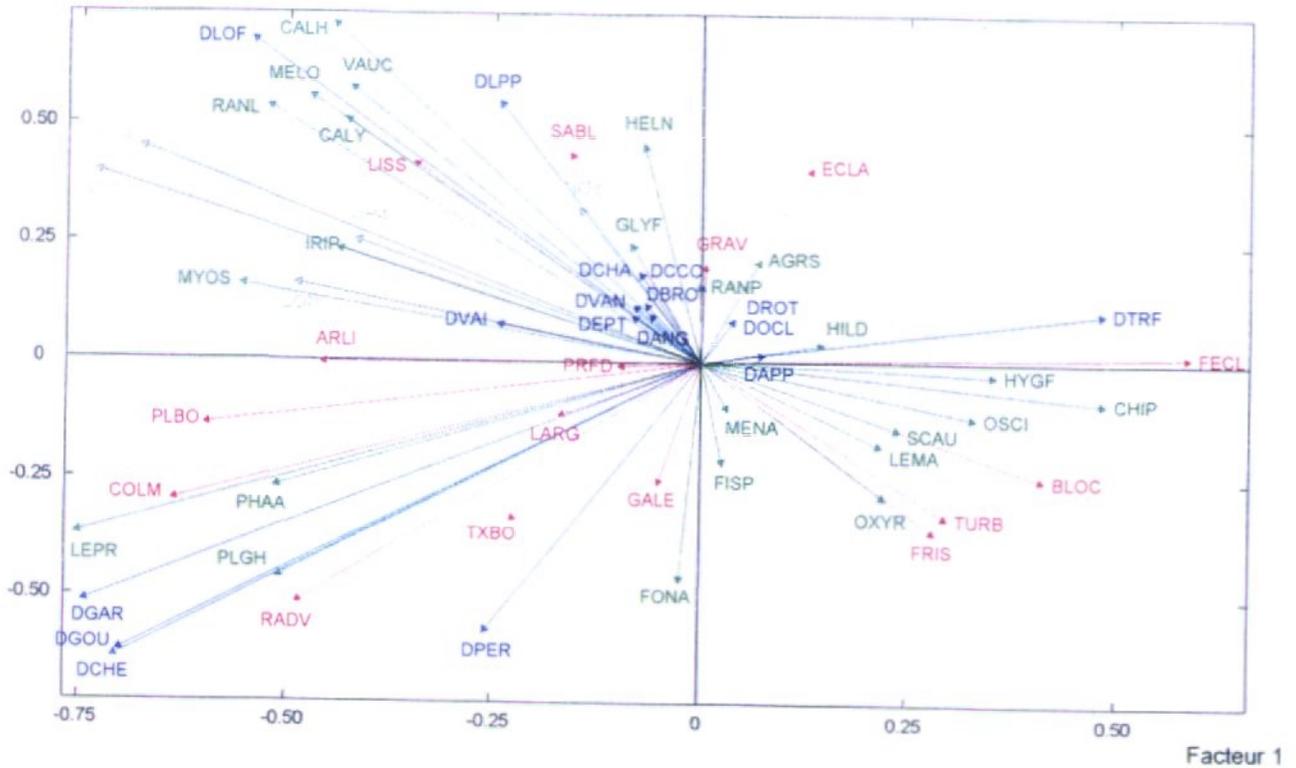


Figure 57A : Plan factoriel F1xF2 des variables de l'A.F.M. pour la mésologie (en rouge), la chimie (en gris), les macrophytes (en vert) et les poissons (en bleu).

Facteur 2

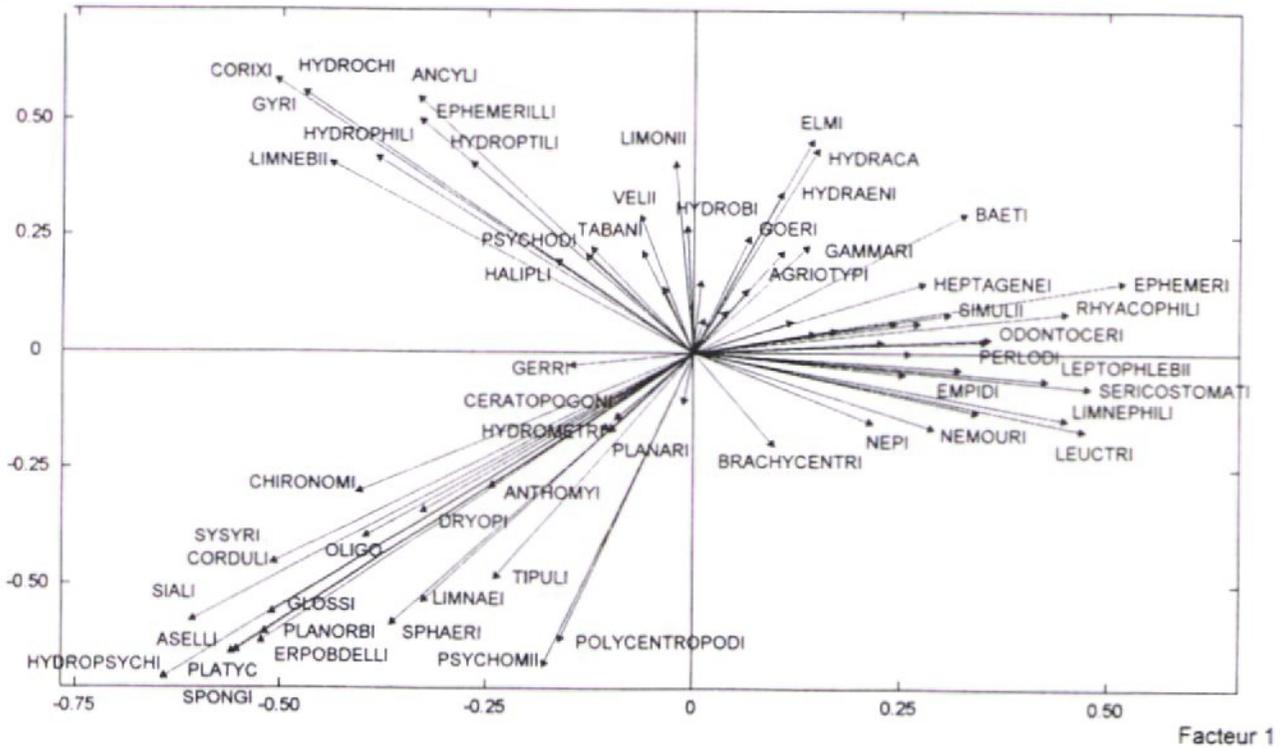


Figure 57B : Plan factoriel F1xF2 de l'A.F.M. totale pour les Invertébrés

Les variables les plus caractéristiques de la partie négative de l'axe 2 sont, pour la mésologie, les racines et débris végétaux, pour les macrophytes, *Fontinalis antipyretica*, *Polygonum hydropiper* et *Leptodictyum riparium*, pour les invertébrés, les Hydropsychidae; Psychomyiidae, Asellidae, Spongiaires, Planorbidae, ... et pour les poissons, les densités de Chevaine, de Gardon, de Goujon, de Perche. La partie positive est caractérisée par l'éclairement, *Apium nodiflorum*, *Callitriche hamulata* et les densités de Loche franche et de Lamproie de Planer, et, pour les invertébrés par les Ephemerillidae, Elmidae, Gyridae, Ancyliidae et Hydracariens.

Cette analyse fait à la fois ressortir les particularités des stations, mais aussi les paramètres prépondérants qui sont à la fois la qualité de l'eau, mais aussi la différence entre les secteurs profonds non colmatés et les secteurs éventuellement lents, envahis par la végétation, où l'on trouvera notamment des mollusques. Pour les invertébrés, on remarque que certains autres groupes que les Insectes, comme les Spongiaires, les Crustacés et les Mollusques ressortent assez bien. Dans le jeu de données, les Oligochètes n'apparaissent pas particulièrement.

422 - Seconde A.F.M. générale avec sélection des invertébrés

4221 - Paramètres généraux de l'A.F.M. générale sur données sélectionnées

Une A.F.M. prenant en considération toutes les variables actives des ACP séparées met en évidence une structure quadri-dimensionnelle, les 4 premiers axes cumulant 43,1 % de l'inertie totale. Toutefois la valeur propre du premier axe (3,0), assez éloignée du maximum possible, exprime que la qualité de la représentation générale sera assez limitée.

Les paramètres généraux de l'A.F.M. mettent en évidence que le premier facteur est réellement commun à l'ensemble des groupes de variables (**Tableau XIVB**). Pour les facteurs suivants, la chimie est mal représentée sur les facteurs 2 et 3. Le facteur 4 semble à nouveau commun à l'ensemble des groupes. Les 5 premiers facteurs sont communs aux groupes de mésologie, des macrophytes, des invertébrés et des poissons.

4222 - Stations (Figures 58A et B)

Le premier plan factoriel fait ressortir l'originalité des trois stations amont du Tilleul : le Gué Chartier et le Grand Etinoux amont et aval.

Pour l'axe 1, les stations qui contribuent le plus sont le Gué Chartier (32,0 %, partie négative, surtout pour la mésologie), le Grand Etinoux amont (13,8 %) et aval (5,3 %) qui s'opposent au Roche Elie (12,0 %, partie positive, surtout pour les poissons), l'Yvrande (9,0 %, surtout pour les invertébrés), la Fendrie (5,7 %), la Mousse (4,4 %).

Pour l'axe 2, ce sont les trois stations amont du Tilleul qui déterminent l'essentiel de l'inertie : 36,5 % pour le Grand Etinoux amont et 22,3 % pour le Grand Etinoux aval (essentiellement à cause de la chimie, des poissons et des invertébrés) et 20,0 % pour le Gué Chartier (essentiellement en raison du milieu physique et des macrophytes).

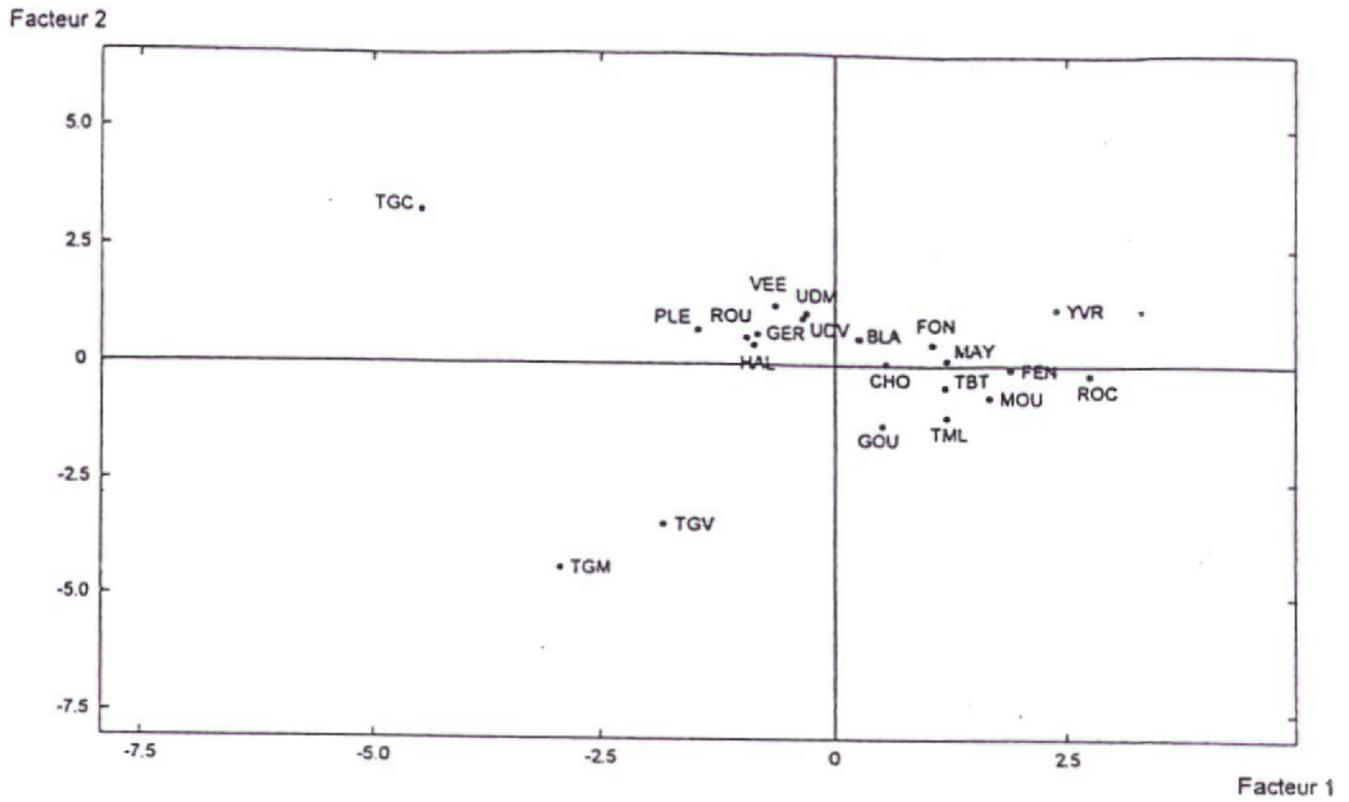


Figure 58A : Plan factoriel F1x2 des individus de l'AFM.

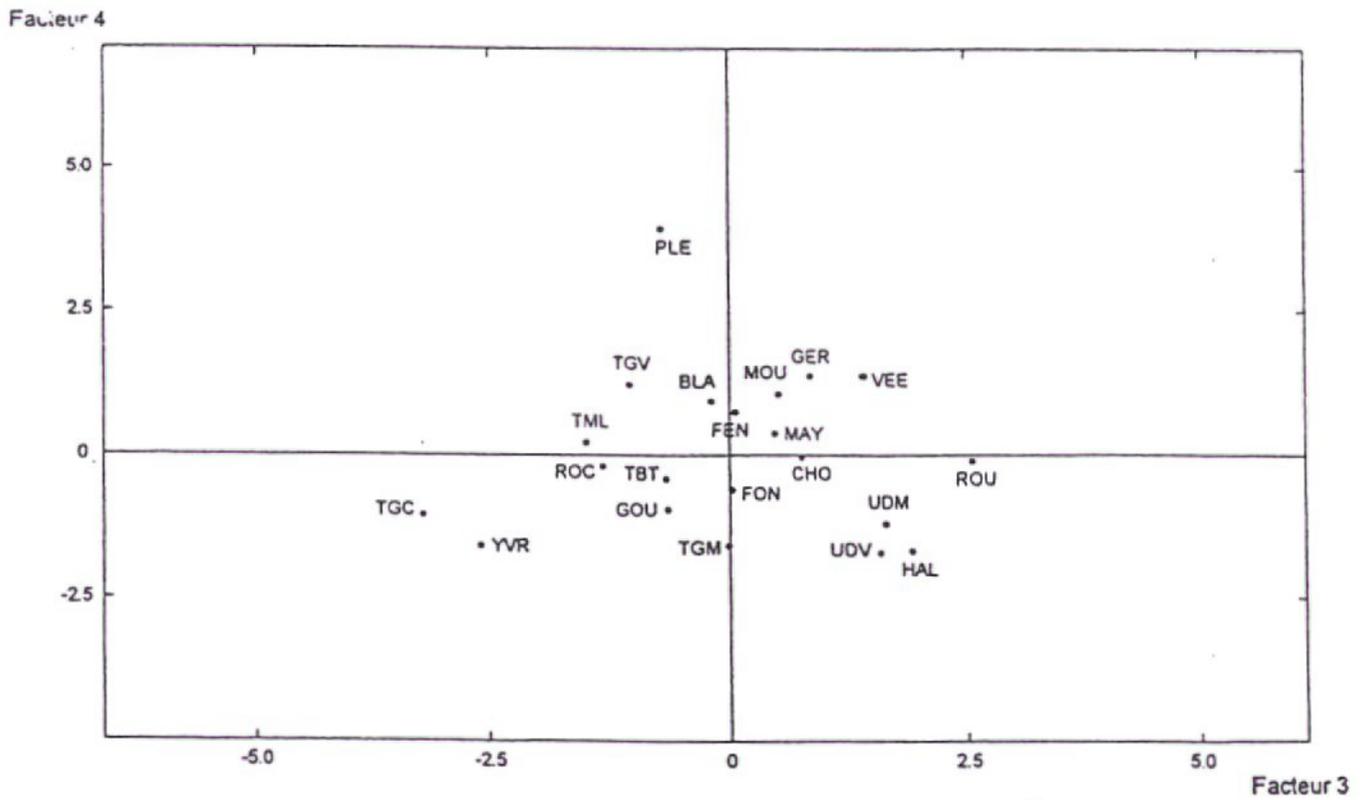


Figure 58B : Plan factoriel F3x4 des individus de l'A.F.M.

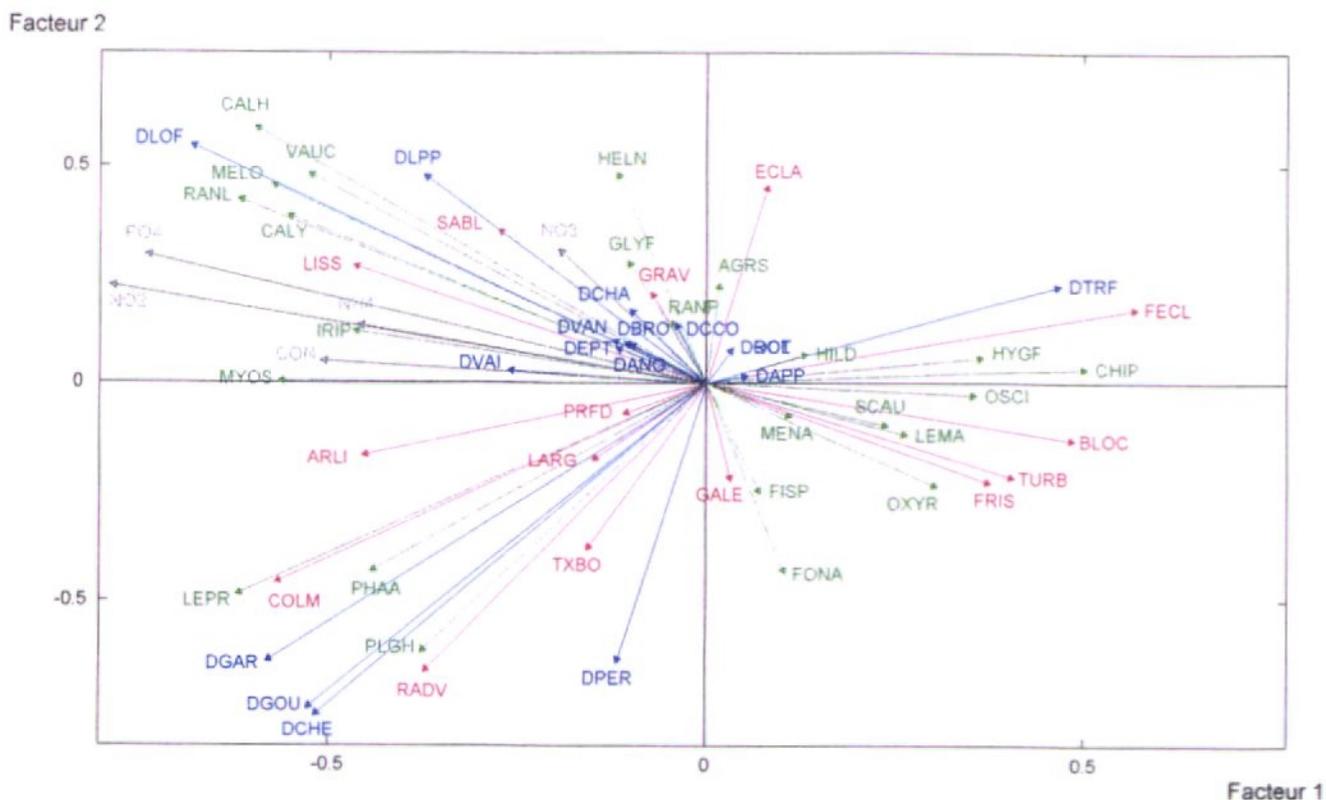


Figure 59A : Plan factoriel F1xF2 des variables de l'A.F.M. pour la mésologie (en rouge), la chimie (en gris), les macrophytes (en vert) et les poissons (en bleu).

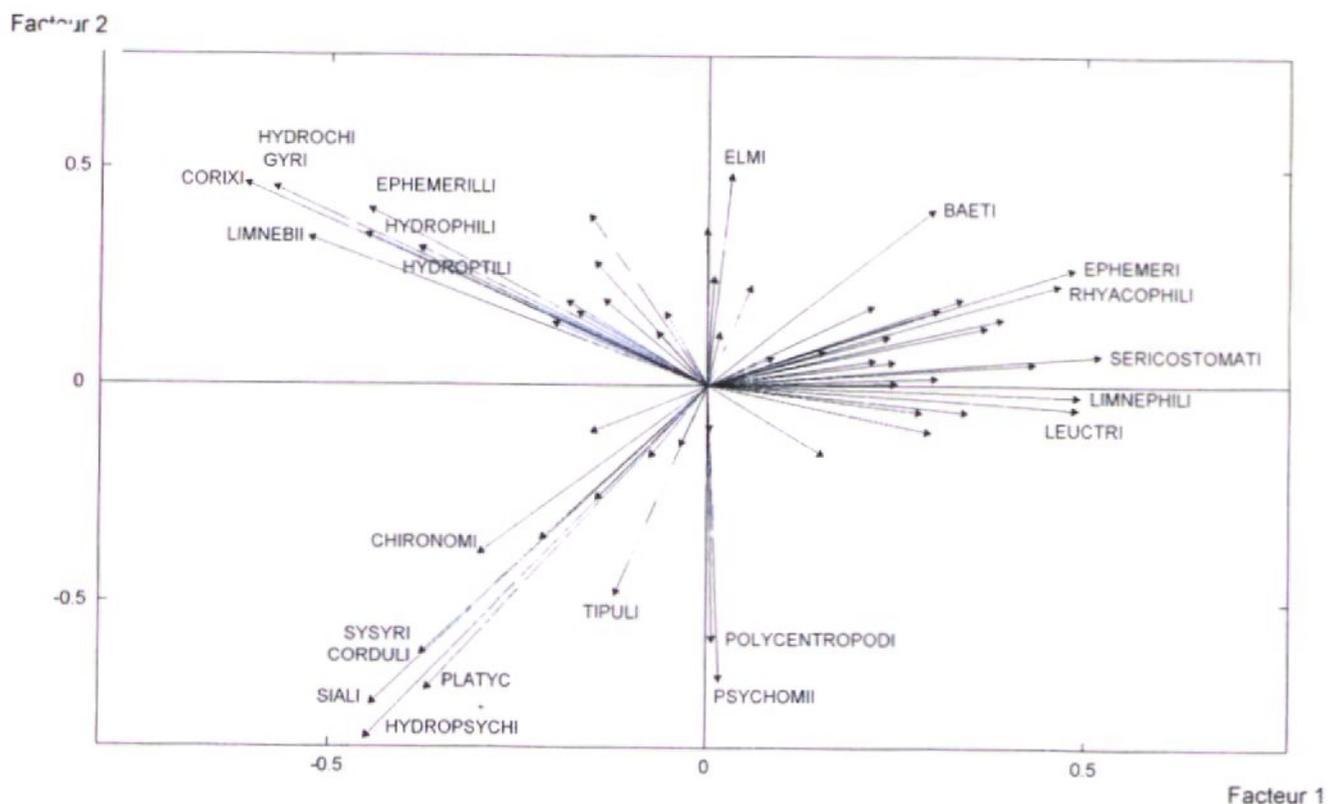


Figure 59B : Plan factoriel F1xF2 de l'A.F.M. pour les Invertébrés

Le troisième axe est encore principalement déterminé par le Gué Chartier (24,7 %) qui s'oppose notamment à la Rouvre (15,2 %), ainsi qu'à la Halouze (8,7 %).

Enfin, le 4ème axe est essentiellement caractérisé par la Plesse (40,7 % de l'inertie totale), qui s'opposent à la Halouze, l'Udon aval et l'Yvrande.

4223 - Variables (Figures 59A à D)

Les différents groupes contribuent diversement à l'inertie des facteurs généraux de l'AFM (Tableau XIV D)

Sur l'axe 1, les contributions maximales sont dues

- pour la mésologie, au colmatage (2,3 %), et aux blocs (1,7 %), qui s'opposent au nombre de faciès d'écoulement par 100 m linéaires (2,3 %),
- aux paramètres de pollution : NO₂ (7,3 %), PO₄ (6,5 %), NH₄ (2,5 %) et de minéralisation (conductivité : 3,1 %),
- pour les macrophytes, sur la partie négative, à *Ranunculus peltatus* (2,4 %), aux callitriches, *C. hamulata* (2,3 %) et *C. platycarpa* (2,0 %) et *Hygroamblystegium fluviatile* (2,5 %), *Melosira* sp. (2,1 %) et *Myosotis scorpioides* (2,0 %) qui s'opposent à *Chiloscyphus polyanthos*
- pour les invertébrés, il y a une opposition entre les Leuctridae, Limnephilidae, Sericostomatidae sur la partie positive de l'axe, qui s'opposent aux Corixidae, Gyridae, Limnobiidae,
- enfin, pour les poissons, les densités de Loche franche (4,3 %), Gardon (3,2 %), Goujon (2,6 %) et Chevaine (2,5 %), s'opposent aux densités de Truite (2,0 %).

Les variables les plus caractéristiques de la partie négative de l'axe 2 sont, pour la mésologie, les racines et débris végétaux, pour les macrophytes, *Polygonum hydropiper* et *Leptodictyum riparium*, pour les invertébrés, les Hydroptilidae, Polycentropodidae, Psychomiidae, Cordulidae, Sialidae et Sysyridae, et pour les poissons, les densités de Chevaine, de Gardon, de Goujon, de Perche. La partie positive est mal caractérisée par l'éclairement, *Apium nodiflorum*, *Callitriche hamulata* et les densités de Loche franche et de Lamproie de Planer.

L'axe 3 est caractérisé, pour sa partie positive, par les densités d'Épinochette, de Vandoise et d'Anguille, ainsi que par les graviers, et un écoulement laminaire, et pour les invertébrés, par les Tabanidae, Limoniidae, Hydroptilidae, Hydraenidae. La partie négative est caractérisée par de nombreux macrophytes comme *Apium nodiflorum*, *Vaucheria* sp., un écoulement turbulent et les blocs, et, pour les invertébrés, par les Rhyacophilidae, Gyridae, ...

La partie négative de l'axe 4 est caractérisée par la profondeur, la largeur et les nitrates, ainsi que par les Ephemeridae. La partie positive est caractérisée par les densités de Chabot et de Lamproie de Planer, ainsi que par l'ammonium; pour les invertébrés, ce sont les Psychodidae, les Haliplidae et Chironomidae.

En somme, dans cette seconde analyse, les particularités des stations ressortent aussi fortement. Il s'agit alors de comprendre quelles sont les causes de ces particularités.

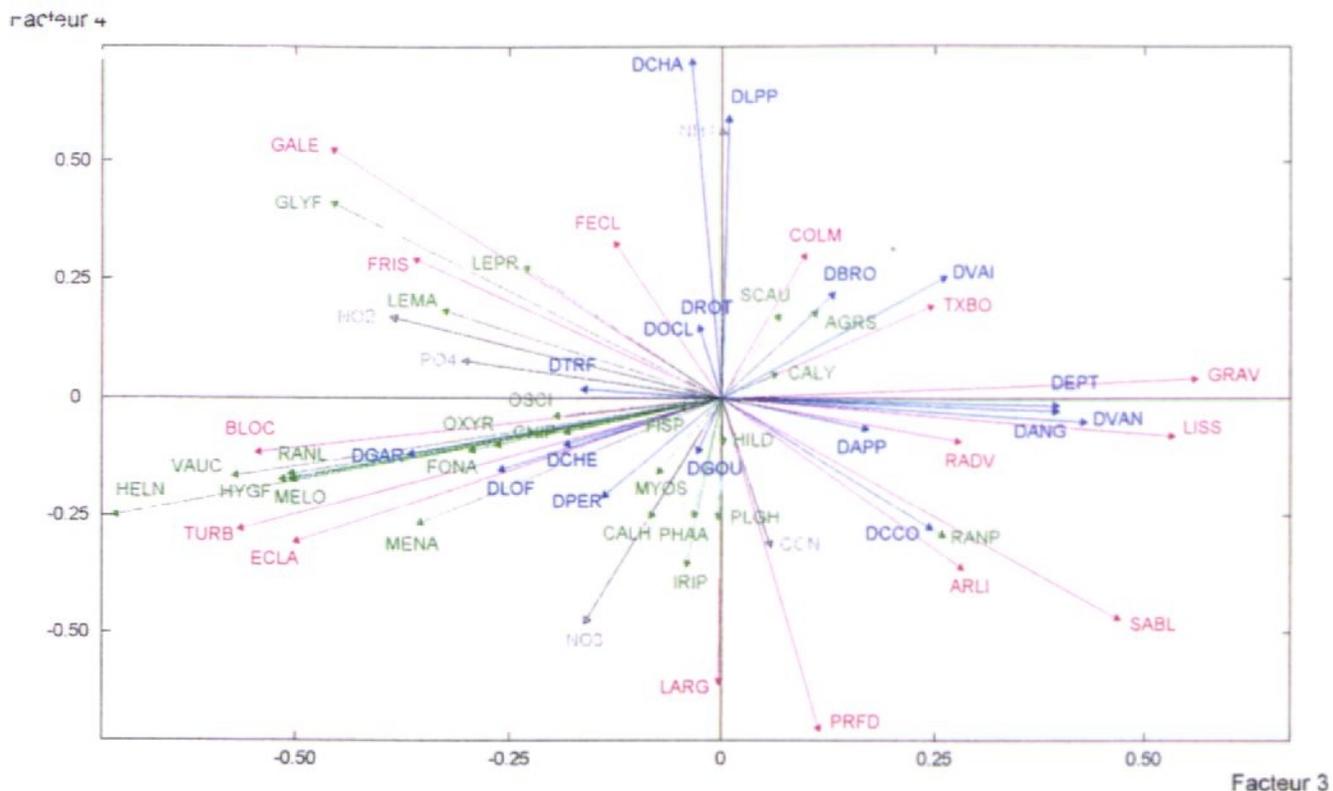


Figure 59C : Plan factoriel F3x4 des variables de l'A.F.M. pour la mésologie (en rouge), la chimie (en gris), les macrophytes (en vert) et les poissons (en bleu).

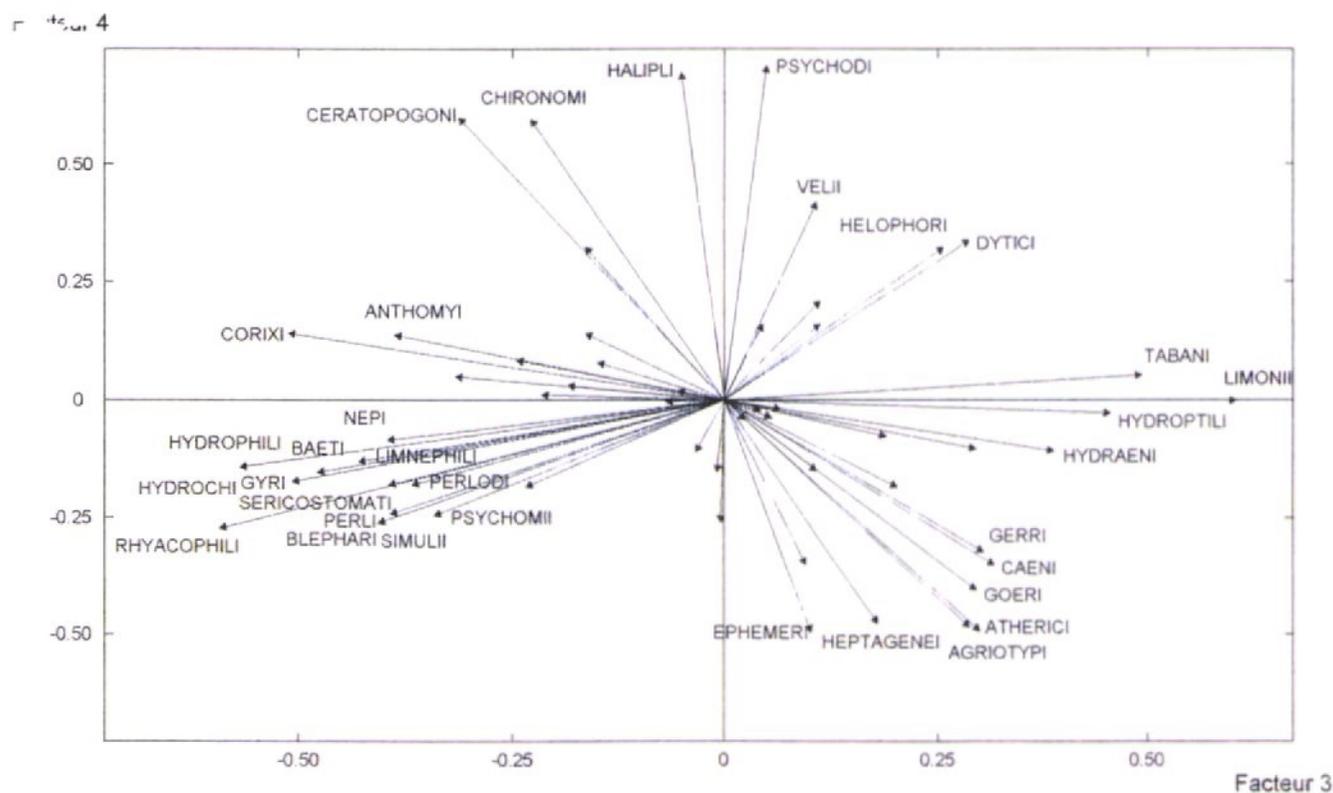


Figure 59D : Plan factoriel F3x4 de l'A.F.M. pour les Invertébrés (sélection)

5- BILAN DE L'AMENAGEMENT DU TILLEUL

51 - Résultats généraux pour l'ensemble des compartiments

Ce bilan recoupe les indications données dans les résultats de l'observatoire des rivières, sur les 3 stations du Grand Etinoux amont et aval et du Moulin Lassue. La gestion des berges dans le Bois du Triage sera évoquée, le forestier gestionnaire pratiquant des interventions localisées et raisonnées.

Au niveau de l'énergie lumineuse incidente, après une nette amélioration, la canopée s'est refermée (**Figure 60**). Ainsi, sur certains faciès du Moulin Lassue, la luminosité apparaît moindre qu'avant, les chablis antérieurs dégageant le lit ayant été reformés et redressés en têtards. Désormais, le pourcentage de transmission lumineuse est inférieur à 10 % au Grand Etinoux aval et au Moulin Lassue, et à 20 % au Grand Etinoux amont, alors qu'ils dépassaient respectivement 15, 30 et 50 % juste après aménagement.

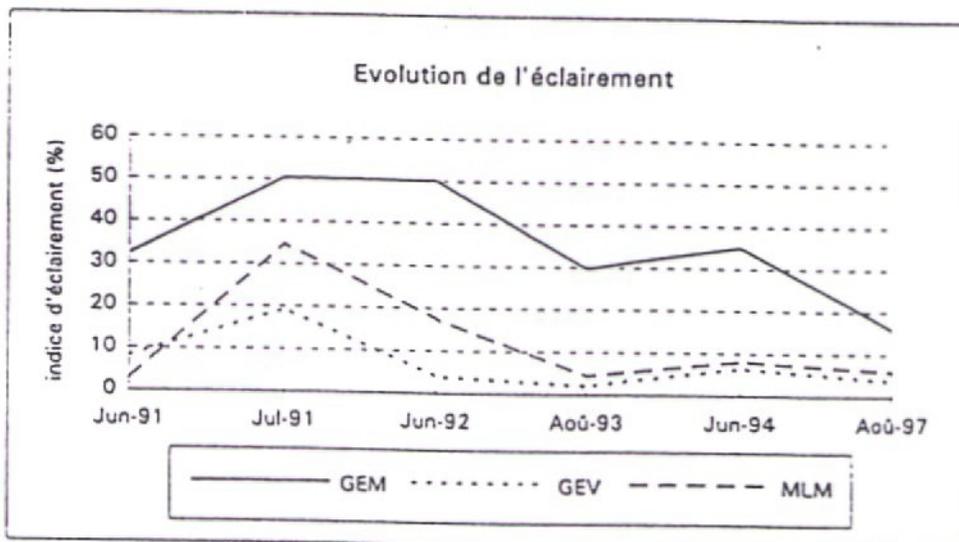


Figure 60 : Evolution du pourcentage de transmission lumineuse sur les trois stations du Tilleul.

L'évolution des profondeurs moyennes, des vitesses moyennes et du nombre de Froude (approché) met en évidence une nette amélioration du caractère courant de la station dû à l'aménagement. Par exemple, sur un habitat « profond » situé à l'amont d'un embâcle, l'amélioration est sensible juste après enlèvement de l'obstacle. Si l'amélioration est encore sensible en 1992, ce n'est plus aussi net en 1994 et en 1997 (**Figures 61**).

Pour l'hydraulicité, de nouveaux embâcles sont apparus, essentiellement au Grand Etinoux amont, et pas seulement dans la partie aval (3 embâcles remplaçant les 3 de 1991), mais aussi sur le radier de l'amont où un saule est tombé dans le lit. Au Moulin Lassue, deux embâcles de faible importance ont été recensés en 1994-1995 et en 1997, mais ils ne sont pas restés en place; un troisième embâcle correspondant à la chute d'un arbre dans le cours d'eau a été enlevé (par le riverain ?). Dans le Bois du Triage, aucun embâcle ne s'est reformé, et le gestionnaire a supprimé certains frênes qui menaçaient de tomber dans le lit.

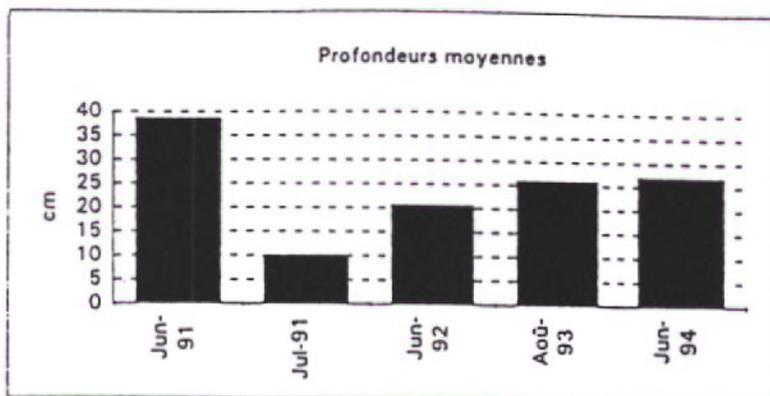


Figure 61 : Evolution des profondeurs moyennes d'un faciès profond à l'amont d'un embâcle suite à son enlèvement en Juillet 1991.

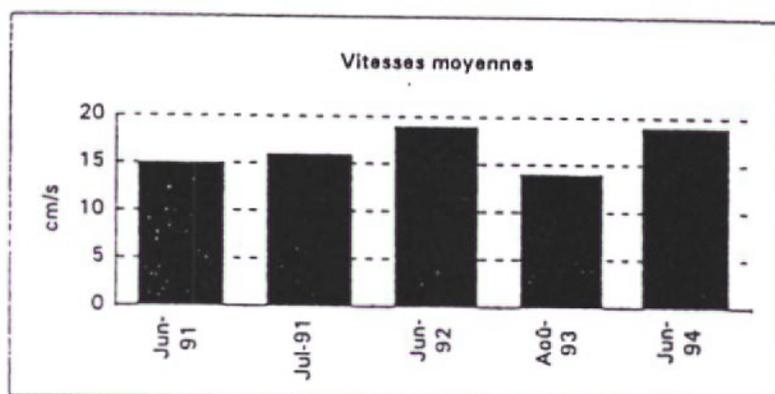


Figure 62 : Evolution des vitesses moyennes d'un faciès profond à l'amont d'un embâcle suite à son enlèvement en Juillet 1991.

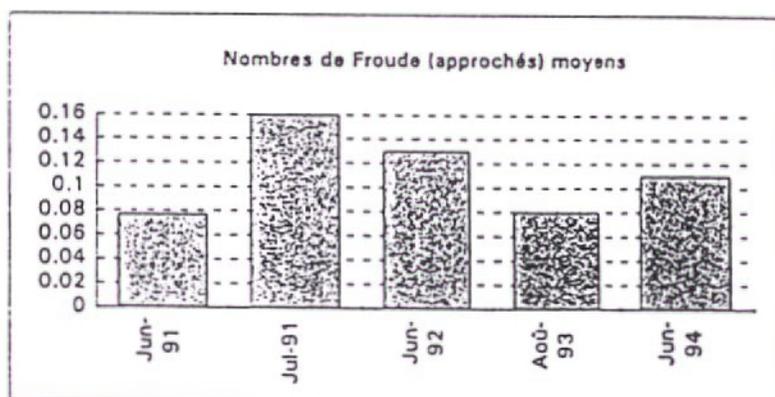
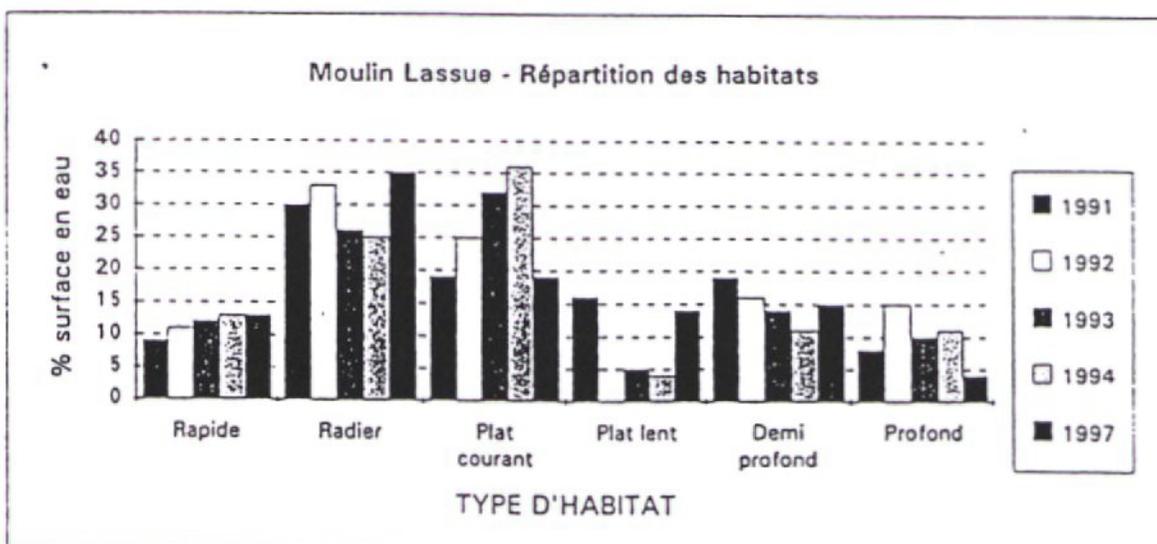
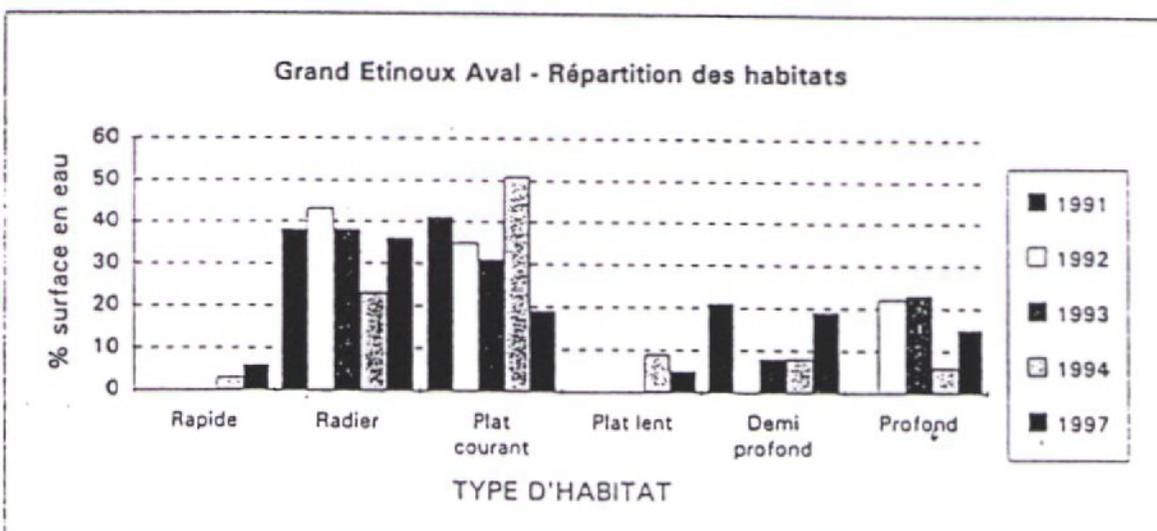
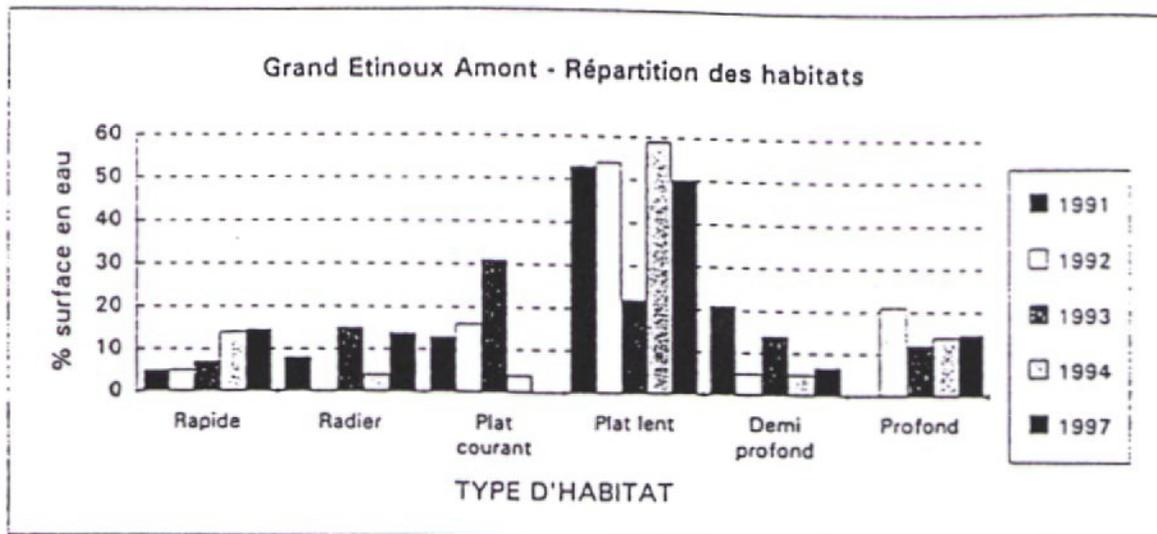


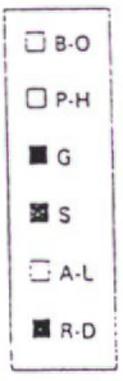
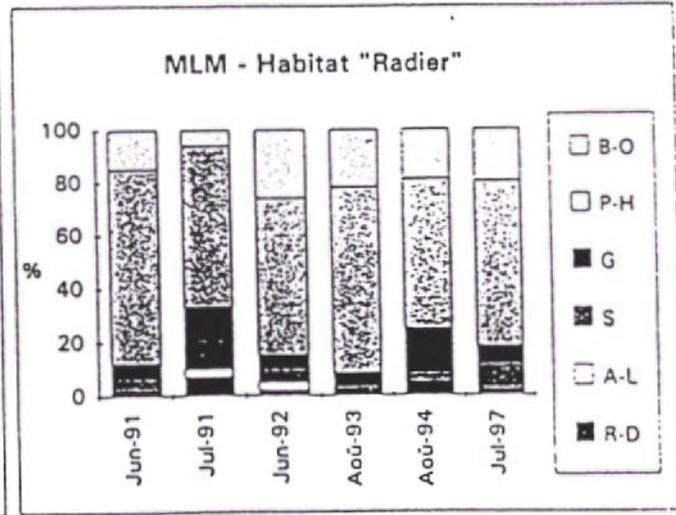
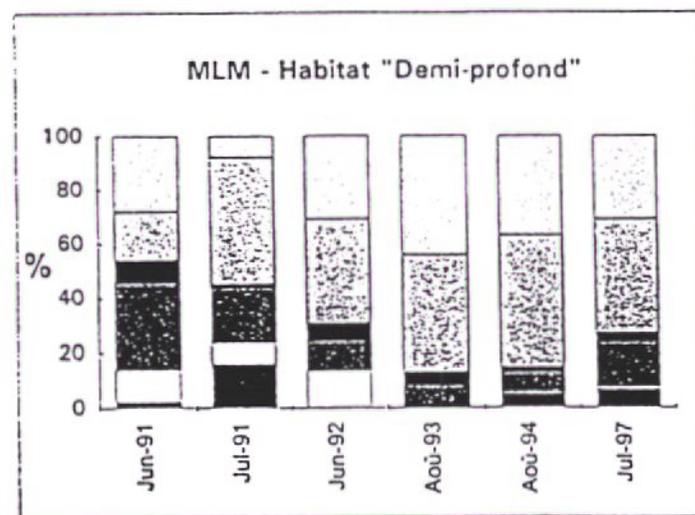
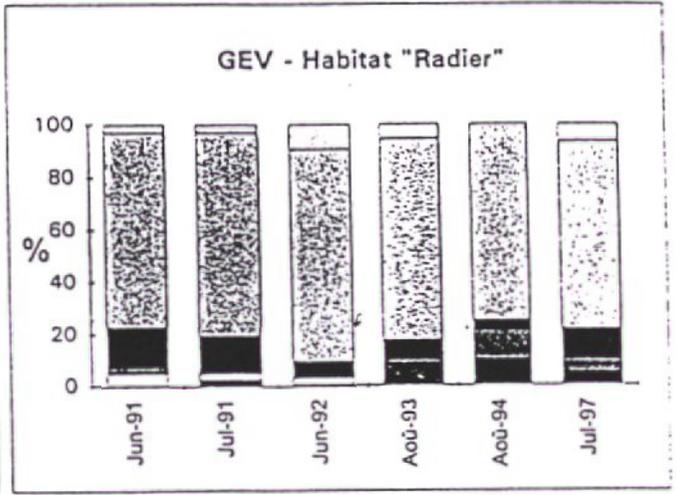
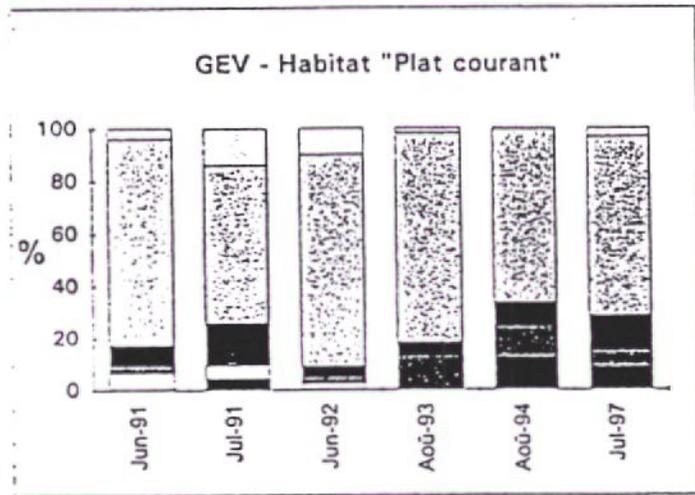
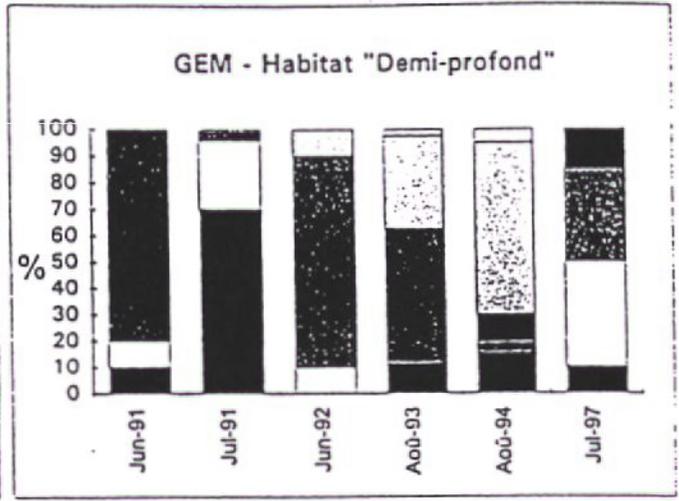
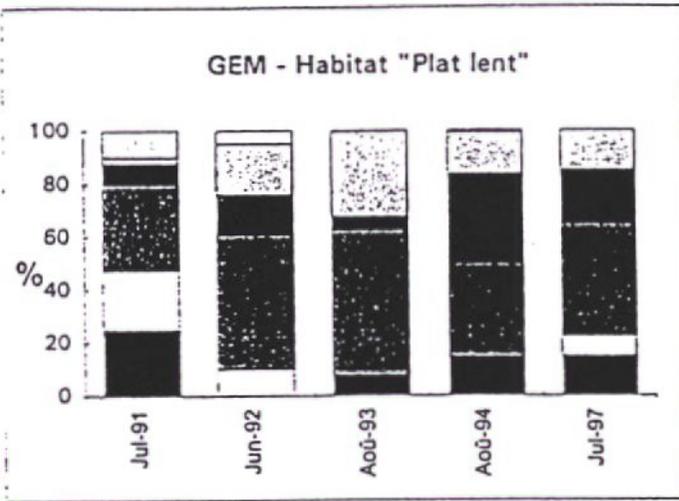
Figure 63 : Evolution des Nombres de Froude moyens approchés d'un faciès profond à l'amont d'un embâcle suite à son enlèvement en Juillet 1991.

En terme d'évolution des habitats, il y a eu une diminution d'ensemble des habitats profonds et /ou lents, et surtout une nette augmentation des faciès rapides (Figures 64).

Du point de vue granulométrique, au Grand Etinoux, on observe un nouveau colmatage des fonds par des éléments fins, notamment des débris végétaux et des limons, ce qui est également observé, dans une moindre mesure au Moulin Lassue (Figures 65).



Figures 64 : Evolution des pourcentages de types de macro-habitat dans les trois stations aménagées du Tilleul.



Figures 65 : Evolution des pourcentages granulométriques de 6 habitats représentatifs choisis dans les trois secteurs aménagés du Tilleul.

Toutefois, il faut signaler l'aspect subjectif de la qualification de certains habitats par des observateurs, même entraînés, et l'influence du débit quant à la pertinence de cette qualification et même des limites des macro-habitats.

La ripisylve semble avoir retrouvé toute sa diversité d'avant le nettoyage (Figures 66 - Annexe 6), avec néanmoins quelques disparitions (i), régressions (ii) ou apparitions (iv), ainsi que, pour certaines espèces, une période relativement importante avant que les rejets de souches soient suffisamment visibles pour être identifiés à nouveau (iii); enfin, certaines espèces ont progressé de façon importante (v) :

(i) : disparition : viorne (MLMD) (fusain MLMG), chêne (1 individu rabougri MLMD)

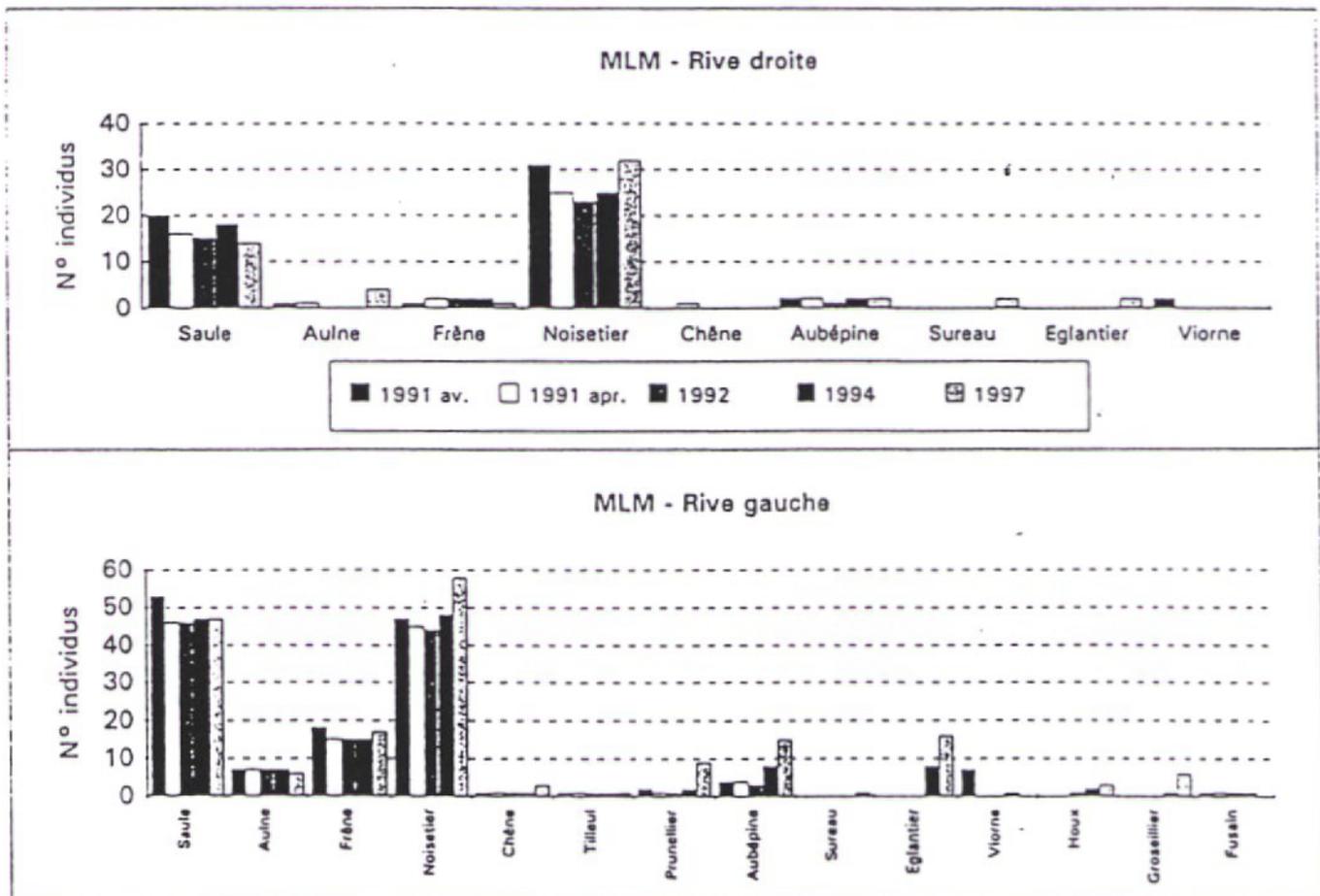
(ii) : régression : frêne (GEMD)

(iii) : longue période d'apparente disparition : groseillier à maquereaux

(iv) : apparition : sureau (GEMD), groseillier (GEVG), églantier et sureau (MLMD)

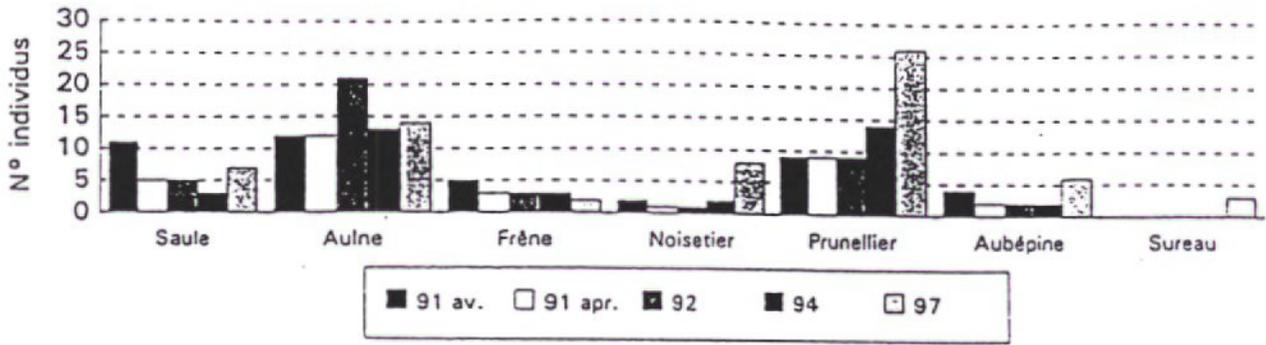
(v) : progression : noisetier et prunellier (GEMD), prunellier, aubépine, houx et églantier (GEMG), prunellier, aubépine et églantier (MLMG).

En tout état de cause, les disparitions affectent des populations d'arbustes initialement peu représentés, ainsi qu'un chêne isolé étouffé par la ripisylve ultérieurement.

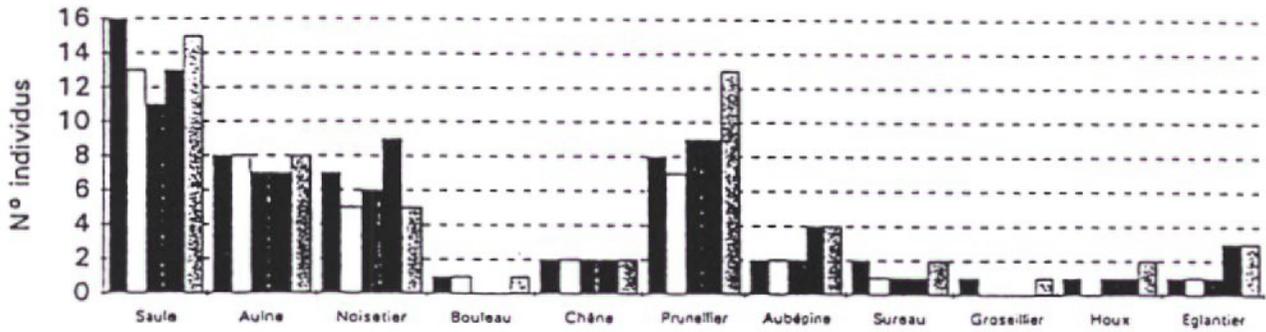


Figures 66A : Evolution de la ripisylve des trois stations aménagées du Tilleul

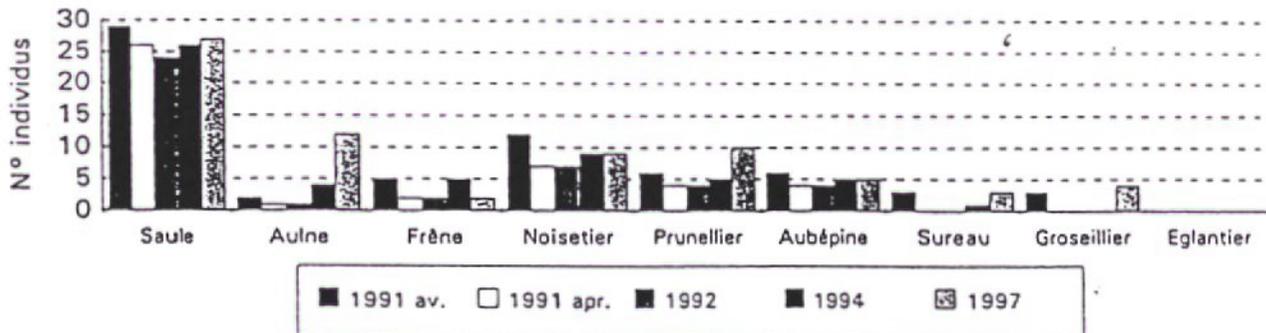
GEM - Rive droite



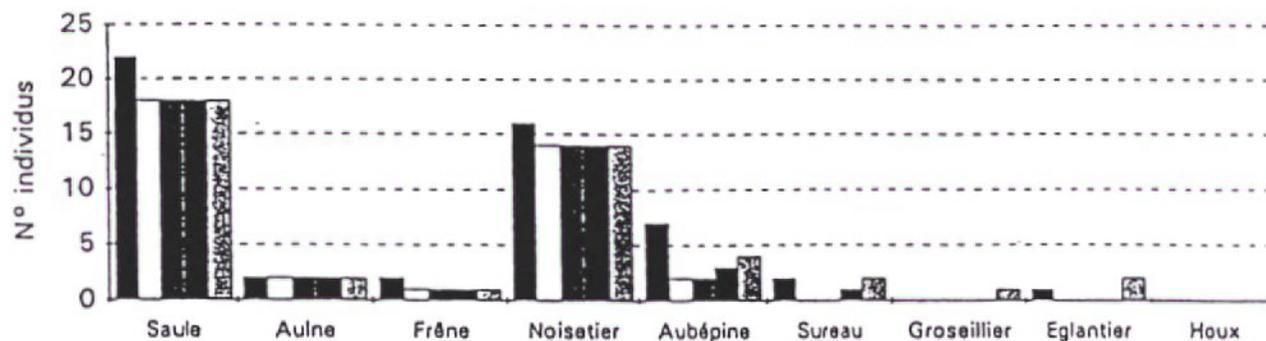
GEM - Rive gauche



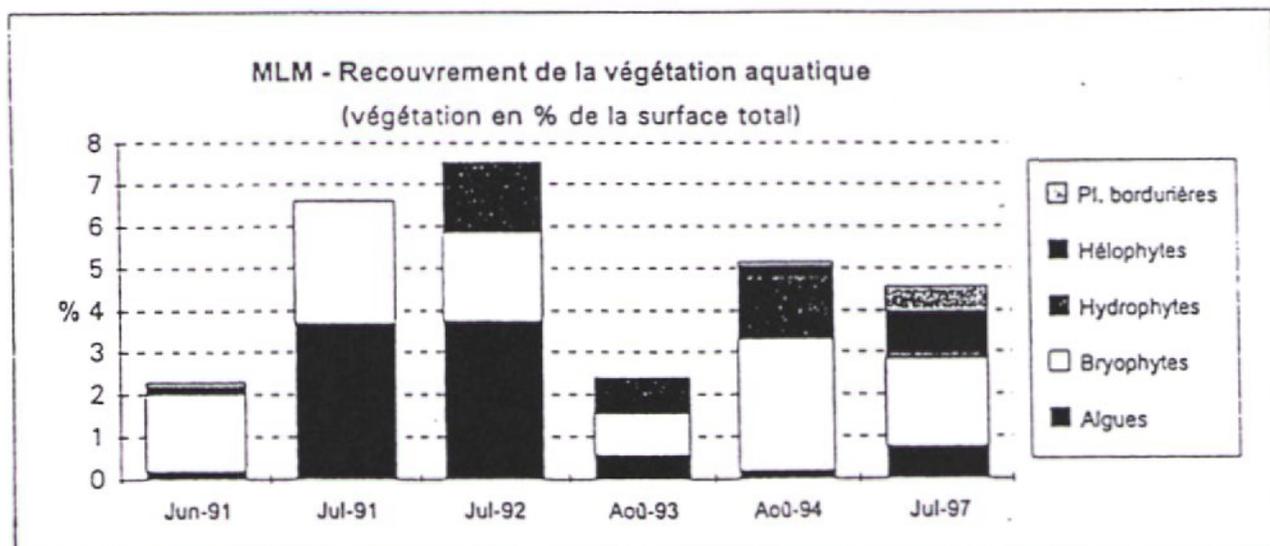
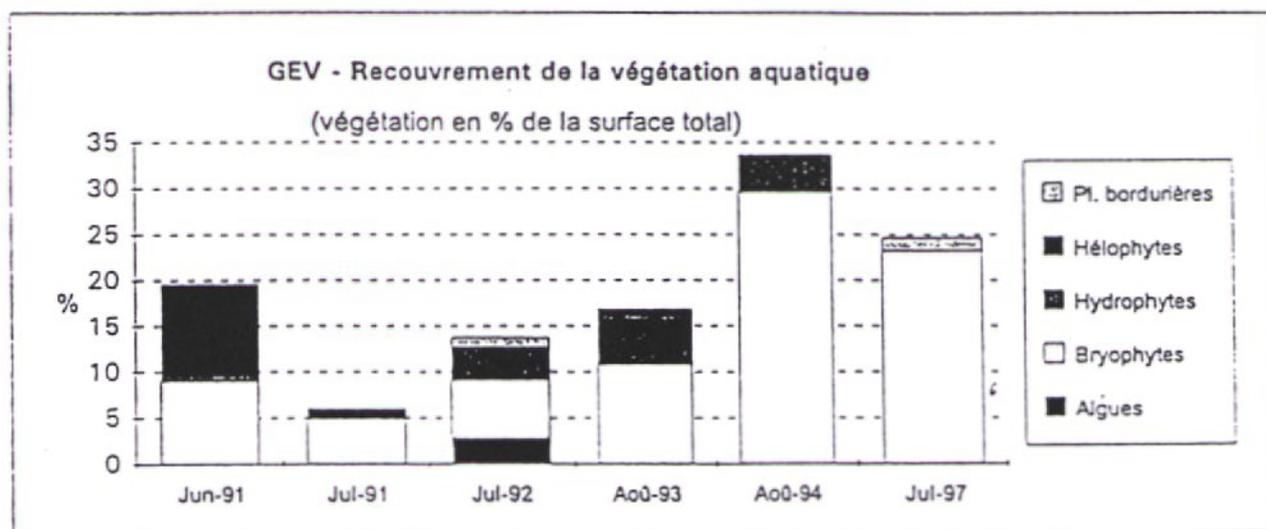
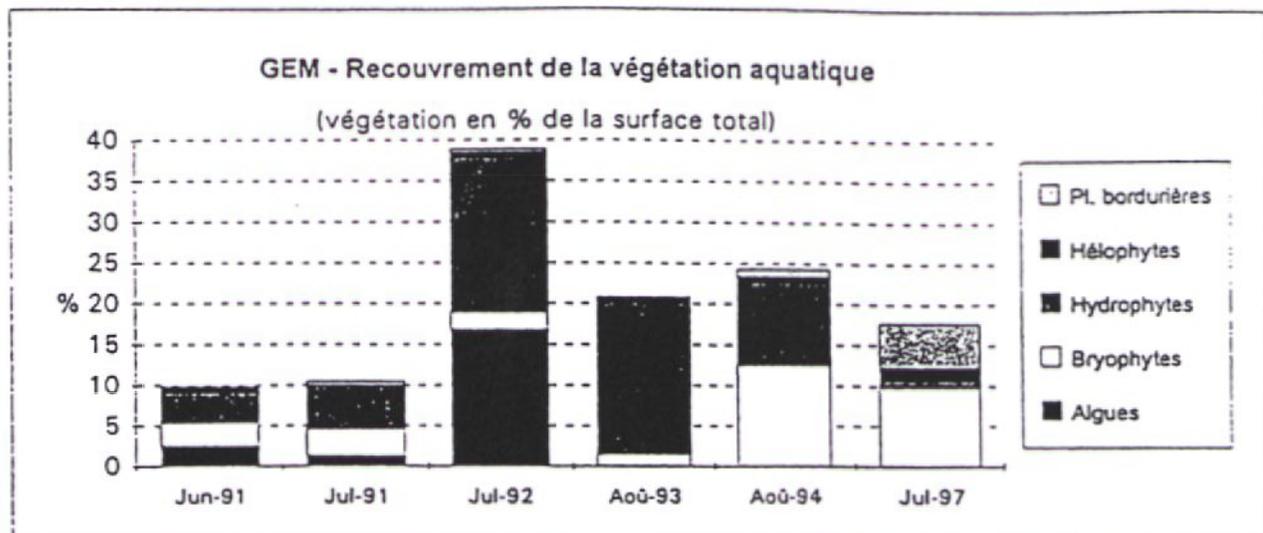
GEV - Rive droite



GEV - Rive gauche



Figures 66B : Evolution de la ripisylve des trois stations aménagées du Tilleul (fin)



Figures 67 : Evolution des recouvrements macrophytiques dans les trois stations du Tilleul.

La végétation macrophytique immergée continue désormais de diminuer dans les 3 stations, après avoir nettement bénéficié de l'éclairement apporté par le nettoyage (colonisation de nouveaux faciès, extension des peuplements préexistants). Les phénomènes majeurs observés ressortent bien sur les **Figures 67** :

- Sur le Grand Etinoux amont, une « explosion » d'algues (essentiellement *Nitella flexilis*) et de renoncules (*Ranunculus peltatus*) ainsi que de callitriches (*Callitriche hamulata*, *C. platycarpa*) a eu lieu en 1992, les algues provenant peut-être de l'étang. Dès 1993, les algues étaient beaucoup moins abondantes, avec des cyanobactéries localement; les renoncules et callitriches résistant bien. En 1994, sur les substrats grossiers des rapides, une progression des bryophytes a été observée (avec une forte progression de *Leptodictyum riparium*) et une régression des hydrophytes. En 1997, dans un contexte de recolonisation des berges par les ligneux, et de restauration de l'ombrage dans la partie amont la plus courante, la poursuite de la régression des algues et des hydrophytes s'est poursuivie; en bordure du cours d'eau, des bancs sédimentaires ont été colonisés par des végétaux hygrophiles.

- Sur le Grand Etinoux aval, les bryophytes et renoncules étaient co-dominantes en Juin 1991. En Juillet 1991, la régression des renoncules traduisait le cycle normal de cette espèce, mais aussi l'impact du piétinement lors des travaux. En 1992, une légère prolifération algale (algues vertes) est observée dans ce secteur désormais relativement éclairé, ainsi qu'une progression des hygrophiles. En 1993, une progression des bryophytes est constatée. Cette dernière est confirmée en 1994, alors que s'amorce une régression des renoncules. Trois ans après, les renoncules ont apparemment disparu, et les bryophytes ont commencé à régresser.

- Sur le Moulin Lassue, initialement très ombragé, les macrophytes étaient peu abondants. Juste après l'aménagement, une forte progression des recouvrements algaux (mais qui n'exèdent pas 3,5 % du lit !) est observée et se maintient en 1992. Toujours en 1992, la progression des renoncules (et des callitriches) est très sensible. Selon les années, les peuplements macrophytiques tant des bryophytes et des renoncules sont variables. La tendance générale est néanmoins à une légère régression des hydrophytes, et plutôt à une progression des plantes ripicoles.

Les invertébrés benthiques (**Figures 68, Annexe 7**) sont référencés par rapport au Gué Chartier (station non aménagée mais affectée par une forte pollution) et au Bois du Triage (station peu influencée par l'aménagement et peu polluée). Les prélèvements de 1997, réalisés après une période de crue, sont marqués par de plus faibles effectifs.

Les I.B.G.N. sont assez stables sur le Gué Chartier, même si la richesse spécifique est faible en 1991.

Sur le Grand Etinoux aval, ces I.B.G.N. ont montré une nette amélioration due à l'augmentation de l'hydraulicité, puis une stabilisation après l'aménagement, avec des fluctuations liées à des colonisations occasionnelles. La note très mauvaise de 1991 (7/20) était à la fois due à cette faible richesse taxonomique, mais surtout à la faible qualité du groupe indicateur, les Ephemerelellidae (note 3). La comparaison avec le Grand Etinoux amont en 1997 (I.B.G.N. 10/20 contre 12/20) fait ressortir que si les groupes indicateurs sont les mêmes, la richesse taxonomique est moindre sur ce secteur amont (24 taxons contre 32).

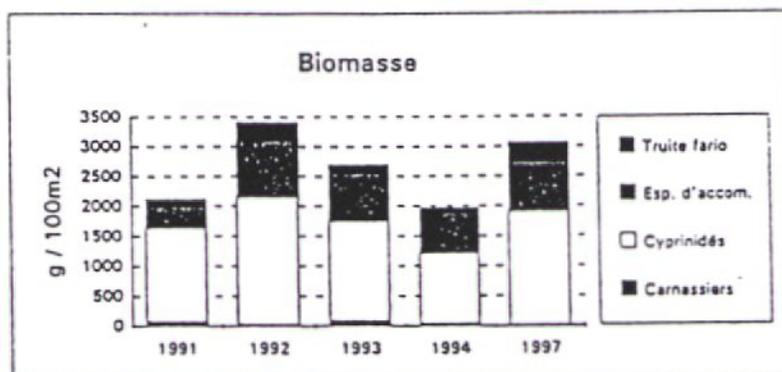
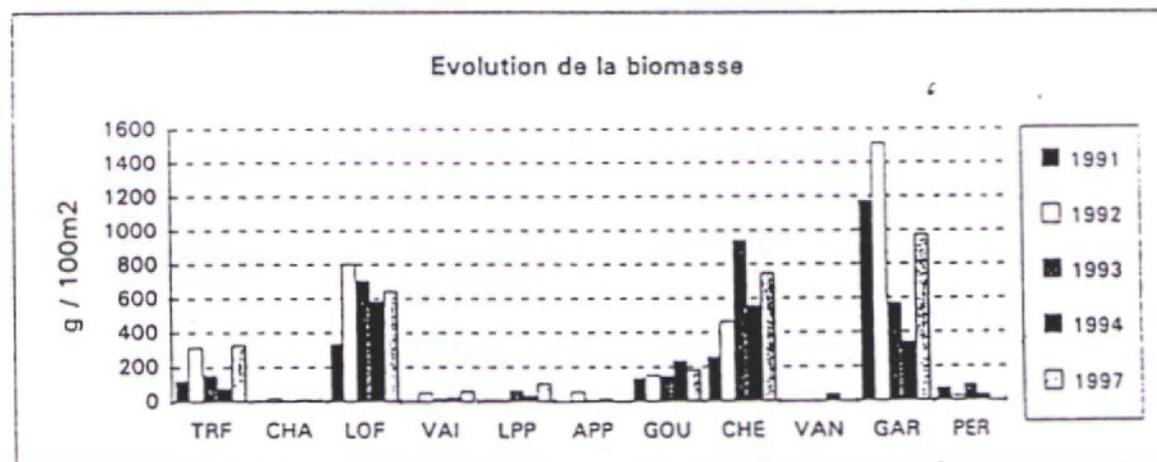
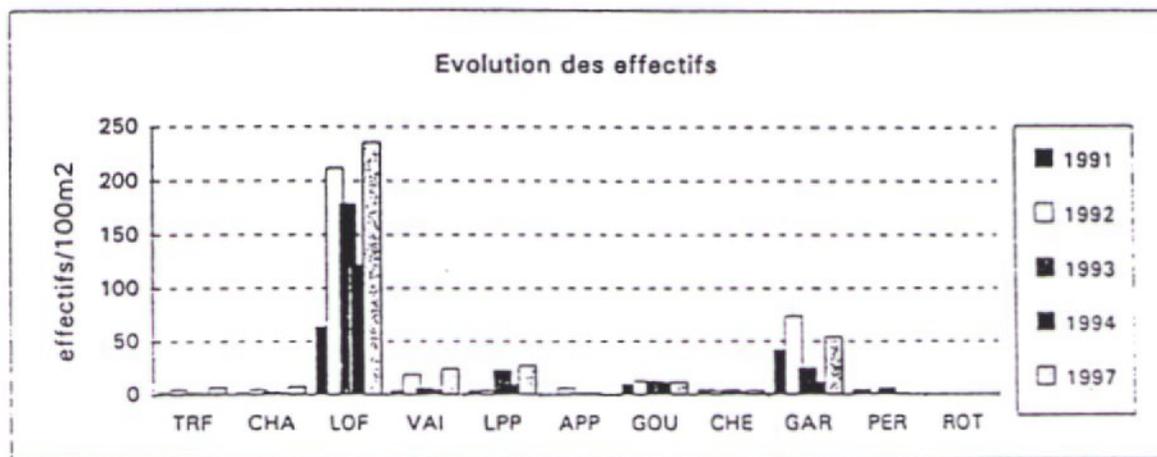
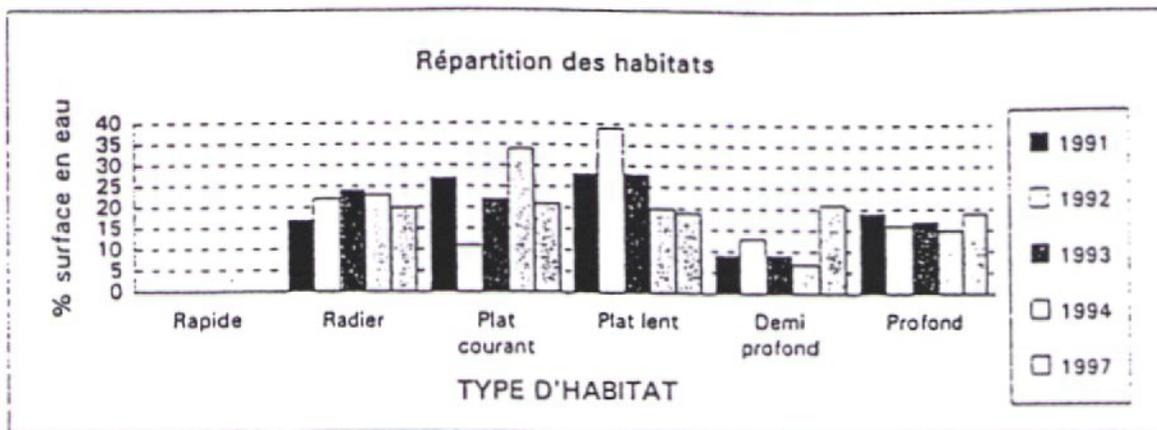
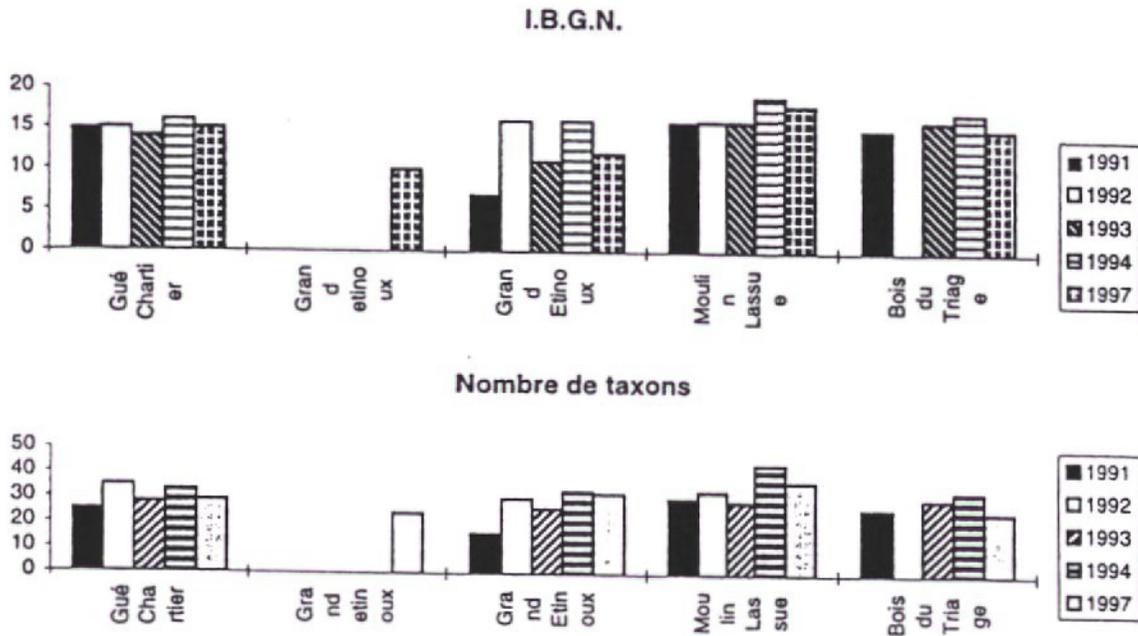


Figure 69A : Evolution des habitats et du peuplement pisciaire sur le Gué Chartier.

Au Moulin Lassue, les I.B.G.N. ont montré une amélioration (2 à 3 points). Toutefois, après une augmentation de la richesse taxonomique, un léger tassement est observé en 1997.

Les I.B.G.N. peuvent être considérés comme stables au Bois du Triage, avec une légère dégradation en 1997 (moins de richesse taxonomique et faible effectif prélevé).



Figures 68 : Indices Biologiques Globaux Normalisés et richesse taxonomique des 5 stations du Tilleul.

Le peuplement piscicole du Tilleul apparaît particulièrement perturbé.

- La diversité spécifique excessive, entre 7 et 12 espèces selon les stations, est due à l'envahissement du cours d'eau par des cyprinidés et de carnassiers atypiques. Elle reflète un double impact des plans d'eau : un échappement de cyprinidés d'eau calme et carnassiers (gardon, perche) en provenance des plans d'eau, et un échauffement des eaux, les rendant plus propices aux cyprinidés d'eau vive normalement inféodés à des secteurs plus aval (goujon, chevesne, vandoise) et au détriment de la truite.

- La faiblesse de la population de truite est remarquable, malgré un potentiel physique "brut" élevé avec des habitats bien diversifiés (surtout dans le cas du Tilleul au Moulin Lassue), en raison d'un ancien travail de recalibrage sur le secteur amont (Gué Chartier), de l'impact d'une agriculture intensive et d'une station d'épuration déficiente à l'amont, et surtout de l'influence majeure des plans d'eau sur la qualité de l'eau (réchauffement, eutrophisation) et sur les conditions de colonisation (remplacement de la population de truite par des espèces atypiques). Compte tenu du très faible niveau de la population et de ces contraintes majeures, il s'avère difficile à envisager une réponse salmonicole aux opérations de réhabilitation du Tilleul par nettoyage (RICHARD, 1993).

- Le peuplement témoigne donc de cette eutrophisation. Les plus faibles biomasses sont observées sur le Tilleul au Bois du Triage (station forestière) et au Moulin Lassue (peuplement caractérisé par une forte prédominance des petites espèces d'accompagnement). Les biomasses les plus fortes se rencontrent sur les secteurs envahis par des espèces issues des plans d'eau (les trois stations amont du Tilleul).

L'évolution des peuplements pisciaires en relation avec les types d'habitat sur les stations (Figures 69A à 69E) diffère selon les stations.

Sur le Gué Chartier (secteur anciennement recalibré, avec une ripisylve restreinte) (Figure 69A), les inventaires piscicoles montrent une nette prédominance numérique de la Loche franche, favorisée par les habitats plats riches en végétation aquatique, et du Gardon, issu des plans d'eau. La rareté du chabot, malgré la présence de secteurs caillouteux propices, témoigne de la dégradation du milieu, notamment du fort colmatage des fonds, et d'une charge en matière organique. On note une progression de la Loche franche. L'Ecrevisse indigène demeure présente malgré tout, mais présente des effectifs faibles et variables dans le temps, de même que la Truite. Malgré de faibles effectifs, le Chevaine participe beaucoup à la biomasse. Rotengle et Vandoise ont des présences occasionnelles.

Sur le Grand Etinoux Amont (Figure 69B), les peuplement piscicoles sont presque exclusivement constitués de cyprinidés et de carnassiers, les espèces compagnes de la Truite étant peu représentées et la Truite absente (sauf pour un individu recensé en 1994). Le peuplement de la station est sous l'influence totale des plans d'eau situés 500 m en amont, tant du point de vue de la diversité spécifique (la Tanche et la Carpe sont même présentes) qu'en ce qui concerne les problèmes de qualité de l'eau liés à l'eutrophisation et à la forte charge organique. Sur ce secteur on retrouve la biomasse piscicole totale la plus élevée, due à la présence d'individus de grosse taille échappés des plans d'eau. Cette biomasse, excessive, est constituée à près de 90% par des espèces atypiques.

Suite au nettoyage et à l'amélioration de l'écoulement, on observe en 1992 une importante diminution de la quantité de cyprinidés et carnassiers, mais dès 1993, une recolonisation progressive par les espèces atypiques se produit, si bien que, en fin du suivi, leur importance relative est nettement supérieure à celle d'avant les travaux de restauration.

Par rapport aux effectifs, on constate une nette diminution de la densité de Chevesne, Perche, Gardon et Goujon entre 1991 et 1992. Cette diminution demeure constante tout le long du suivi dans le cas du Chevaine et de la Perche, tandis que les effectifs de Goujon et de Gardon subissent, dès 1993, une très forte augmentation.

Par contre, en fonction des données de biomasse, on constate pour le Chevesne et la Perche une augmentation de la biomasse à partir de 1993, malgré la diminution de leurs effectifs. Ceci indique que la diminution des effectifs correspond à des individus de petite taille. Le Goujon montre une augmentation exponentielle de la biomasse, tandis que dans le cas du Gardon, la biomasse à la fin du suivi est plus ou moins la même qu'avant les travaux.

La Loche bénéficie en premier temps de l'amélioration de l'écoulement, mais dès 1994, sa population diminue notablement. Le Chabot tend à disparaître du secteur (4 ind./100m² en 1997) et le Vairon montre des densités faibles et des fluctuations selon les périodes; ce qui témoigne d'une qualité de l'eau et de l'habitat médiocres (colmatage, apparition d'embâcles, eutrophisation).

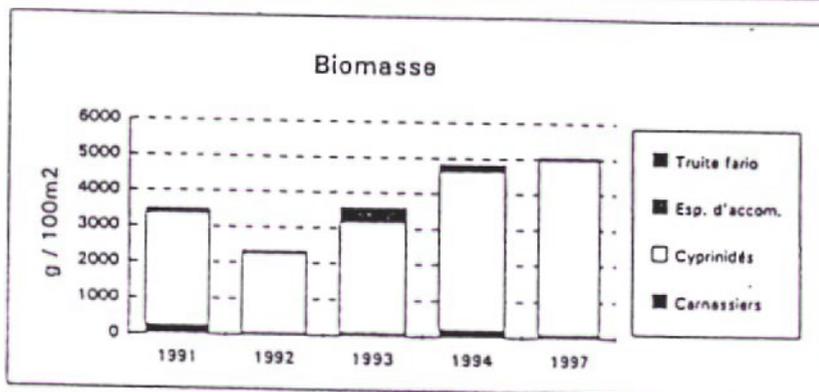
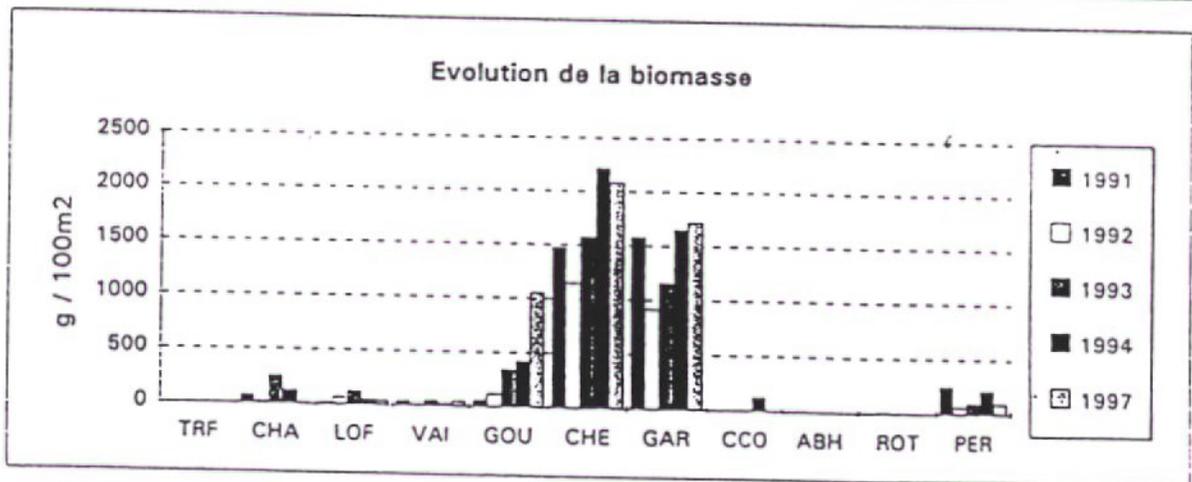
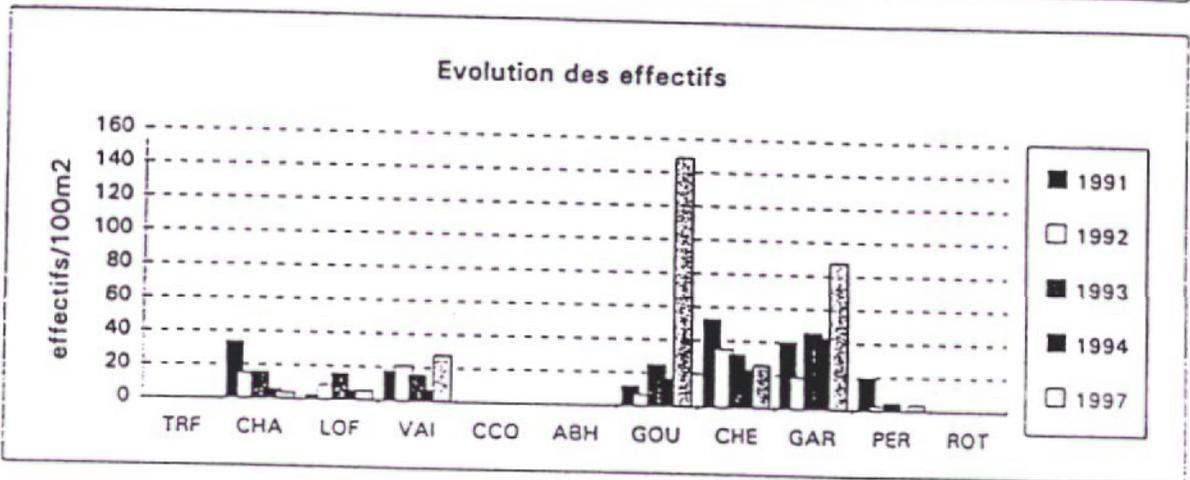
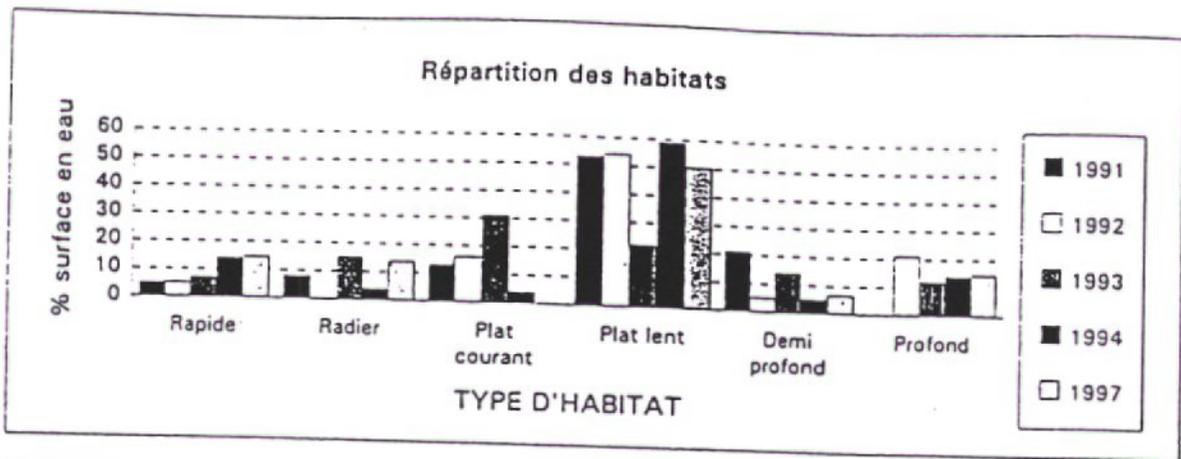


Figure 69B : Evolution des habitats et du peuplement pisciaire sur le Grand Etinoux amont.

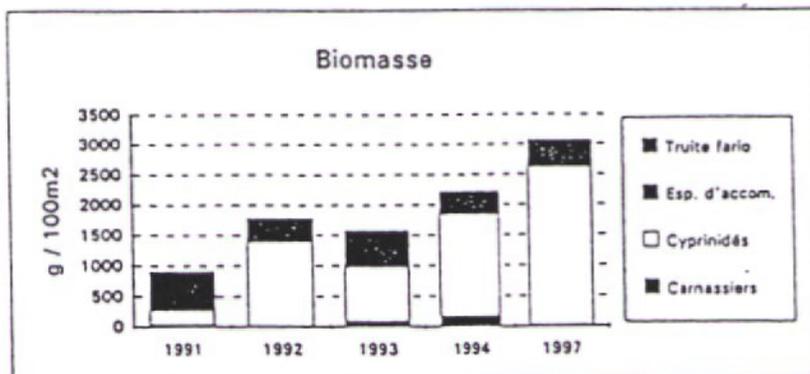
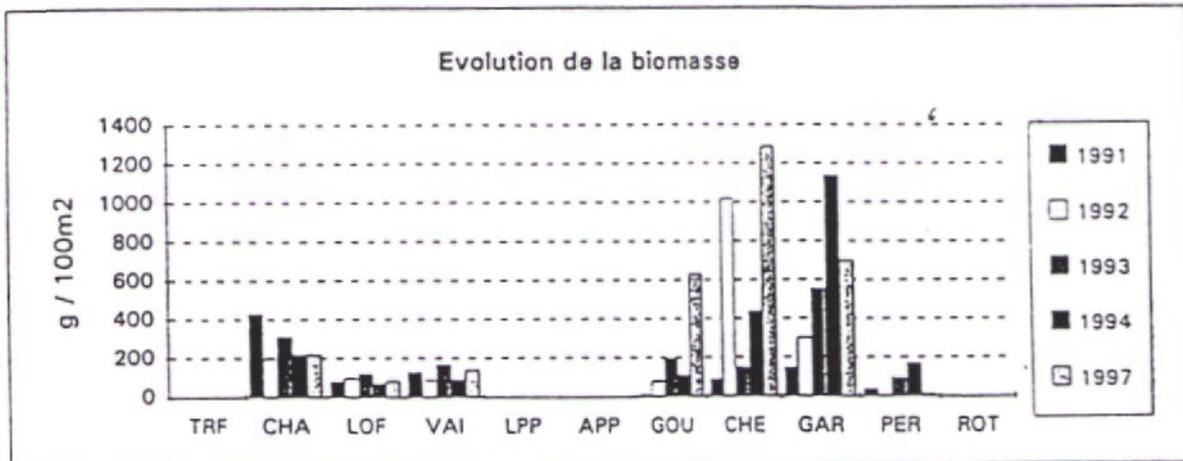
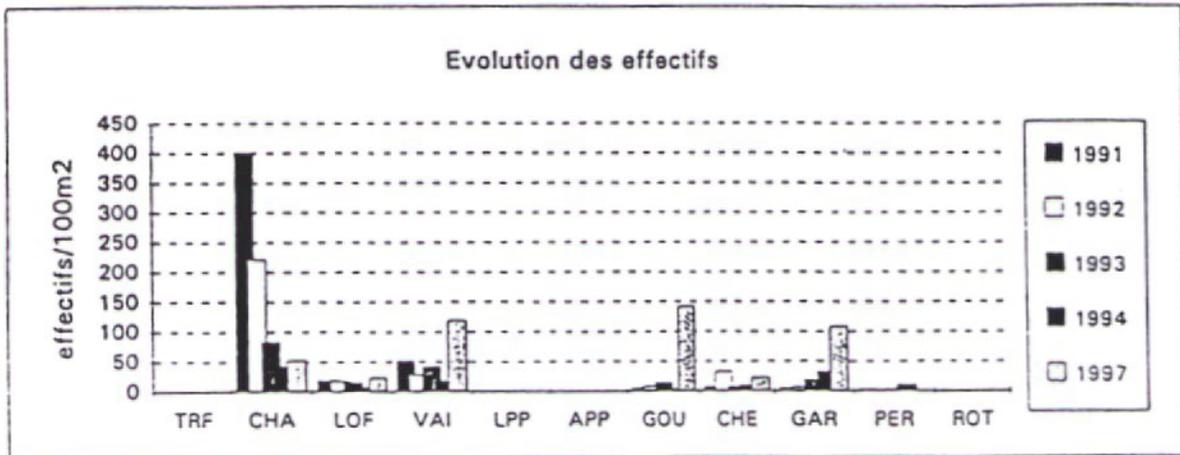
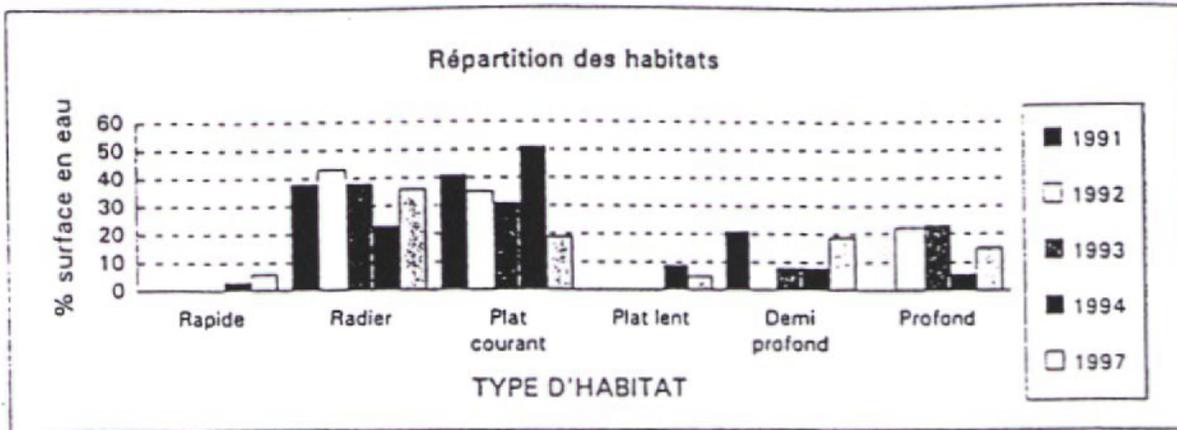


Figure 69C : Evolution des habitats et du peuplement pisciaire sur le Grand Etinoux aval.

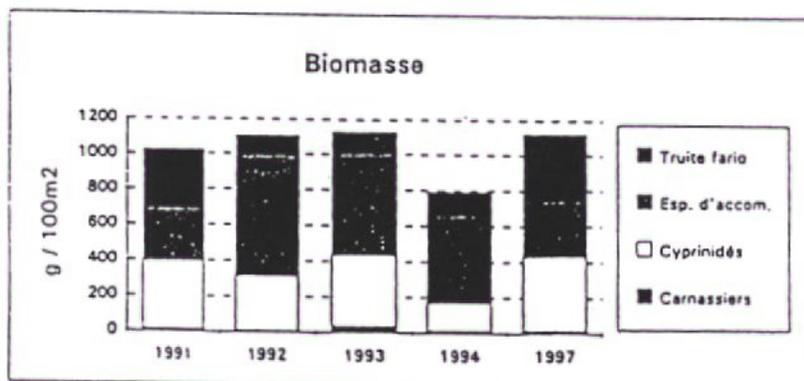
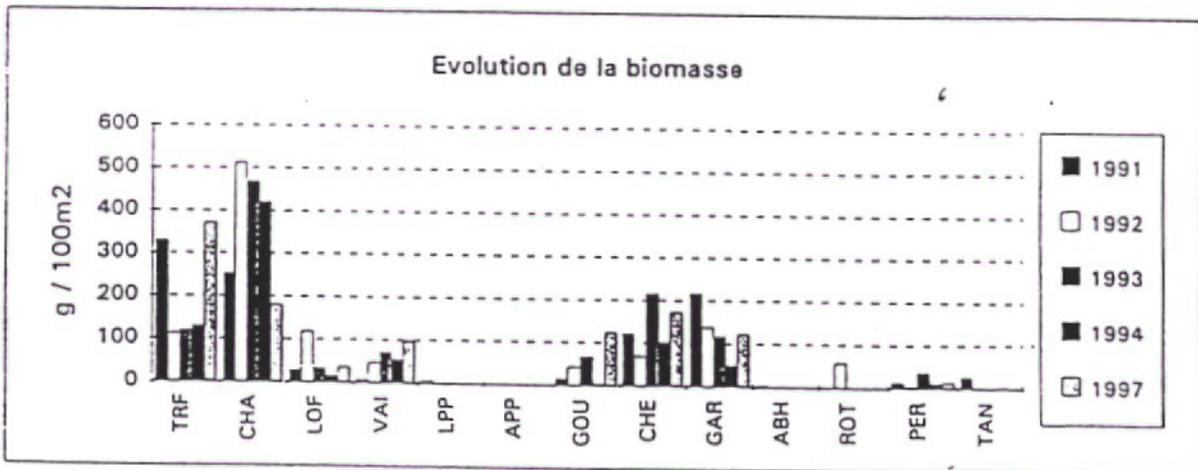
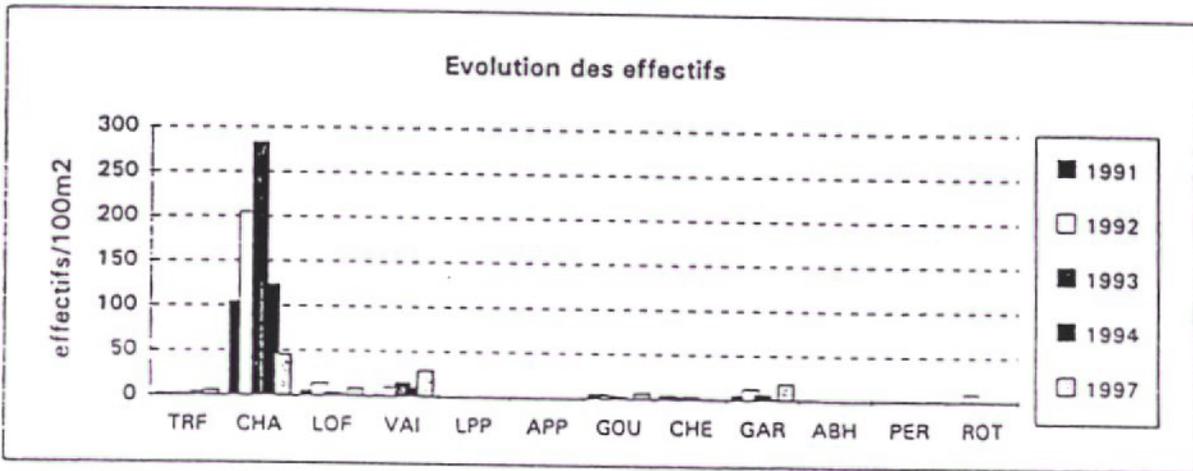
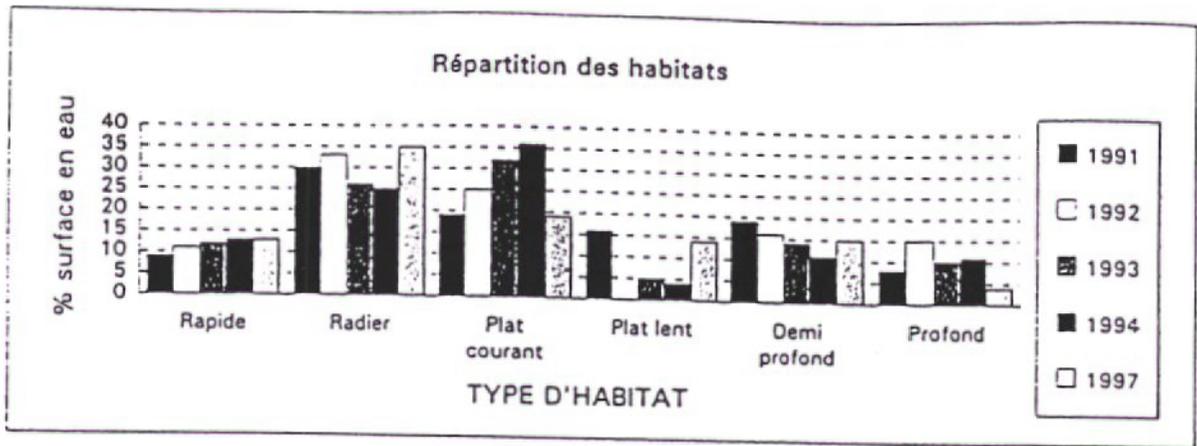


Figure 69D : Evolution des habitats et du peuplement pisciaire sur le Moulin Lassue.

Sur le Grand Etinoux Aval (Figure 69C), la Truite est absente pendant tout le suivi, ainsi que la Lamproie et l'Ecrevisse indigène. Le reste des espèces d'accompagnement de la Truite sont bien représentées, ce qui est dû au fait que ce secteur se caractérise par une faible lame d'eau. L'influence des étangs est très forte, avec 3 espèces de cyprinidés d'eaux vives et calmes et un carnassier bien représentés.

L'espèce numériquement prépondérante est le Chabot, favorisée par le substrat caillouteux des courants. La nette diminution des effectifs, divisés par 8 entre 1991 et 1994, est à relier au très fort recrutement de l'espèce en 1991-92, au déplacement par des espèces atypiques venues de l'amont et à l'évolution des habitats, les plats courants ayant pris le dessus sur les radiers en 1994. La qualité de l'eau a certainement un rôle dans cette évolution qui se traduit par un net vieillissement de la population, le poids moyen individuel passant de 1 gr en 91-92 à 5 gr en 94. D'autre part, il est possible qu'il y ait eu un déplacement d'une partie de la population de Chabot vers des secteurs plus en aval, comme le constate la forte augmentation des effectifs de cette espèce sur le Moulin Lassue, secteur de granulométrie, écoulement et qualité de l'eau plus favorables. En 1997, il y a une légère augmentation des effectifs de Chabot et, en général, de toutes les espèces présentes dans la station. Dans le cas du Vairon, du Goujon et du Chevesne, cette augmentation en fin du suivi est très significative, et correspond probablement à un effet de l'année.

Les espèces atypiques représentent ici entre 60 et 85% de la biomasse piscicole, sauf pour l'année 91 (30%), ceci lié aux importants effectifs de Chabot principalement, mais aussi de Vairon et de Loche, mais aussi, à cette période, par la faible colonisation par les espèces atypiques.

Suite à la restauration, on observe, entre 1991 et 1992, une augmentation des peuplements de cyprinidés au détriment des espèces d'accompagnement de la truite, caractéristiques du milieu. Ceci est probablement lié à un déplacement vers l'aval d'une partie de la population de cyprinidés (surtout Goujon et Gardon) du secteur amont du Grand Etinoux, suite à la suppression des embâcles de ce secteur et à une augmentation du taux de colmatage en aval. Les espèces atypiques ont progressivement colonisé le secteur, ceci constaté par une augmentation progressive des effectifs et de la biomasse. Les espèces d'accompagnement montrent une certaine variabilité, mais en général, leurs peuplements sont stables par rapport à la biomasse.

Sur le Moulin Lassue (Figure 69D), le peuplement piscicole compte encore 11 espèces. La diversité spécifique est beaucoup trop élevée pour ce type de secteur très courant: la présence de 6 espèces de cyprinidés d'eaux vives et calmes et de la Perche témoigne de l'influence des plans d'eau. Ces espèces atypiques ne sont pas représentées par des effectifs aussi nombreux que dans les trois stations amont, car que sur le Moulin Lassue, elles constituent entre 20 et 40% de la biomasse piscicole (l'influence des étangs est ici moins grande).

L'espèce numériquement prédominante est le Chabot, qui trouve ici son habitat caractéristique parmi les pierres et galets constituant l'essentiel de la granulométrie des fonds. Cette espèce semble avoir bénéficié des effets du nettoyage, avec un net accroissement des effectifs de 1991 à 1993. Au cours de ces trois premières années, l'augmentation du pourcentage de la surface en eau des rapides et plats courants semble corrélée à une augmentation du recrutement en chabots (augmentation des densités et poids moyen

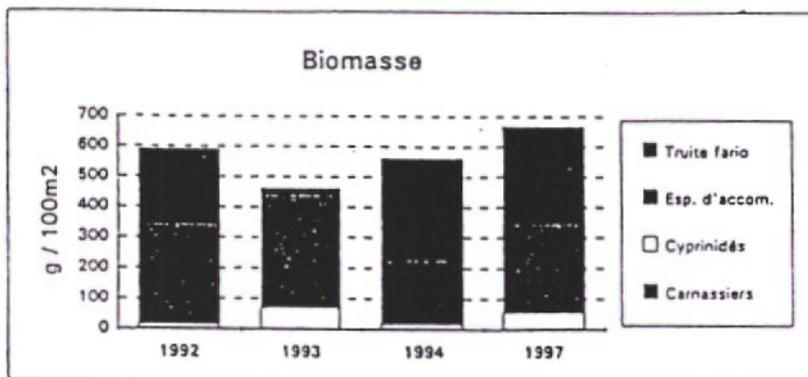
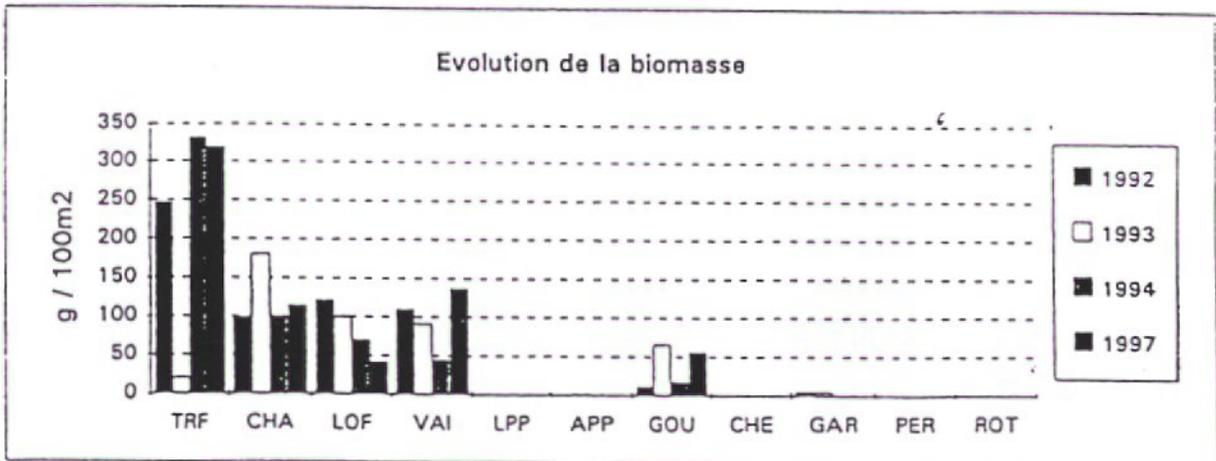
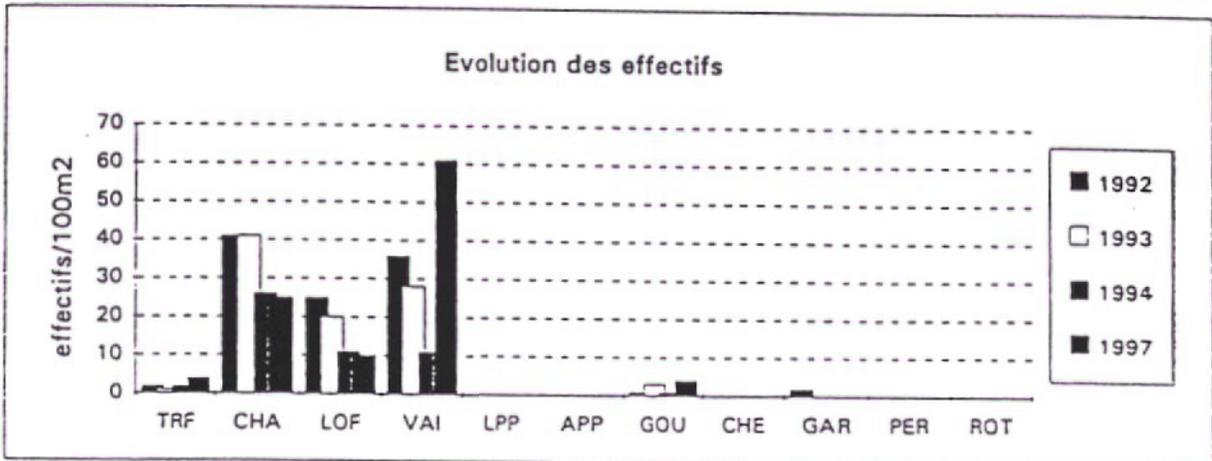
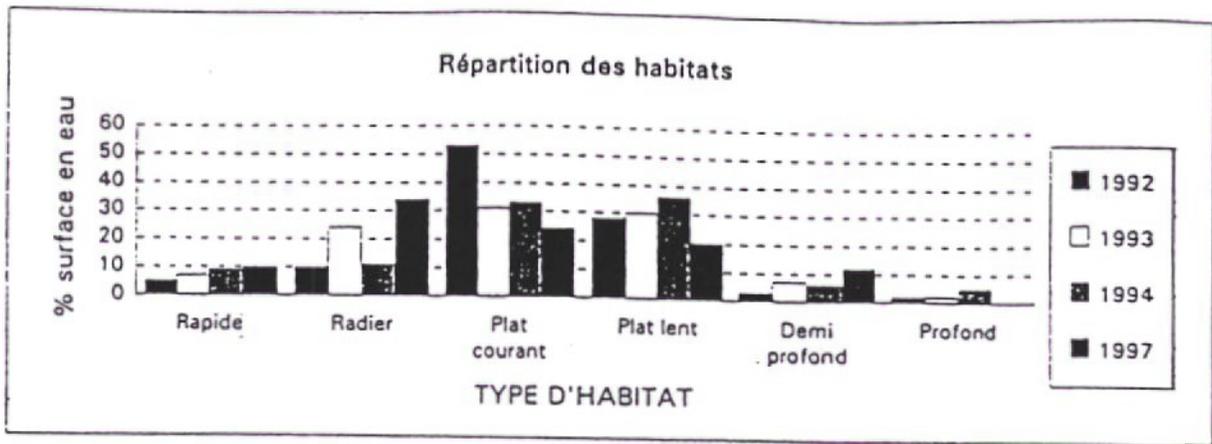


Figure 69E : Evolution des habitats et du peuplement pisciaire sur le Bois du Triage.

individuel faible : 2,5 gr en 1991 et 1,5 gr en 1993). En 1994 et 1997, le peuplement régresse, sans doute en raison d'un vieillissement de la population (le poids moyen individuel augmente à 3,4 gr en 1994 et 3,9 gr en 1997), du régime du cours d'eau (crues 1993-1994), et de la dégradation de la qualité de l'eau.

Malgré une remarquable capacité d'accueil (secteurs courants, granulométrie plutôt favorable, nombreux abris), le peuplement de Truite reste faible, traduisant l'insuffisance du recrutement à l'échelle du bassin versant, recrutement entravé et perturbé par les plans d'eau. Le nettoyage semble avoir deux effets sur la population de truites :

- diminution, entre 1991 et 1994, de la biomasse de Truite consécutive à l'enlèvement des embâcles, abris des sujets adultes. En effet, on constate une diminution du poids moyen individuel, passant de 165 gr en 1991 à 57 gr en 1997.
- augmentation de la densité de truitelles, mais observée seulement en 1994 (année où l'on note à la fois une hausse de la densité et une baisse du poids moyen individuel).
- en 1997, on constate une augmentation de la densité, biomasse et poids moyen de la Truite. La population de truites est en 1997 plus importante qu'en 1991, mais il est difficile d'attribuer de façon certaine cette amélioration à la restauration.

Sur le Bois du Triage (figure 69E), la diversité spécifique est assez faible, avec 8 espèces. Le peuplement est ici presque exclusivement constitué des petites espèces d'accompagnement, Chabot (granulométrie grossière dans les courants), Loche et Vairon (favorisés par la forte proportion de plats). Les espèces atypiques, Goujon, Chevesne et Gardon, sont très faiblement représentées, ce qui traduit le faible impact des plans d'eau en amont. Les effectifs des espèces d'accompagnement de la Truite connaissent une nette diminution en 1994, reflet des variations interannuelles de régime (débits d'étiage et crues) et de recrutement. Le Vairon montre une augmentation très importante en 1997, ce qui indique un recrutement très fort (le poids moyen individuel passe de 3,9 gr en 1994 à 2,2 gr en 1997).

Le peuplement de Truite est numériquement faible; seule la présence irrégulière de quelques sujets adultes autorise alors une biomasse salmonicole significative. L'Ecrevisse indigène, recensée en 1993, est donc encore présente sur le cours aval du Tilleul.

La biomasse piscicole s'avère faible. Le cyprinidés ne représentent au plus que 15% de la biomasse totale.

La capacité d'accueil de la station, dominée par les faciès plats, n'autorise guère la présence d'individus adultes, en dehors de quelques secteurs plus profonds très limités.

En conclusion, la distribution des peuplements piscicoles dans les secteurs étudiés est très fortement influencée par toute une série de facteurs perturbateurs de la qualité de l'eau et des conditions hydrauliques, qui empêchent le normal développement des populations typiques des petits cours d'eau en tête de bassin versant. Un gradient de l'amont vers l'aval a été mis en évidence pour la qualité générale de l'eau et de l'habitat piscicole. En effet, les secteurs situés à proximité des plans d'eau sont particulièrement dégradés, tandis qu'une récupération vers l'aval est observée, en même temps qu'une plus faible productivité.

Ces contraintes majeures limitent fortement les possibles effets bénéfiques de la restauration.

Le nettoyage et la suppression des embâcles ont pour objectif d'améliorer l'écoulement, favorisant les espèces typiques des ces petits cours d'eau par une amélioration des conditions hydrauliques (plus faible lame d'eau, habitats plus courants) et de la qualité de l'habitat piscicole (charge organique plus basse, température de l'eau plus approprié, oxygénation du cours d'eau, ...).

En général, l'effet de la restauration n'est visible qu'en 1992, avec une diminution significative dans les effectifs des espèces atypiques. Mais, peu après, il se produit une progressive détérioration de l'habitat piscicole, liée principalement à l'impact des plans d'eau, mais aussi à un retour aux conditions de départ avec l'apparition de nouveaux embâcles et l'encombrement du lit et des berges.

Une intervention plus régulière s'avère nécessaire, bien que un simple nettoyage n'est pas suffisant pour permettre le maintien des conditions plus favorables pour le développement d'une population typiquement salmonicole.

Pour l'ensemble des compartiments, une synthèse des effets des aménagements peut être proposée (Tableaux XV et XVI).

Tableau XV : Synthèse des travaux et de leurs effets mésologiques sur les 4 stations du Tilleul : état 1994 et état 1997.

| SECTEURS Paramètres | Grand Etinoux amont | Grand Etinoux aval | Moulin Lassue | Bois du Triage |
|---|---|---|--|--|
| Travaux principaux | Suppression d'embâcles Dépressage Arrachage de ripisylve Clôture du gué | Dépressage Débroussaillage | Suppression d'embâcles Dépressage Redressement de souches <i>Un arbre tombé arraché</i> | Dépressage Exploitation de la forêt riveraine |
| Granulométrie + grossière dans les secteurs aménagés | Devenue plus grossière Décolmatage des fonds Comblement à l'aval Granulométrie fine/nlle embâcle <i>Nouveau colmatage</i> | Stabilité <i>Nouveau colmatage</i> | Accroissement du caractère grossier de la granulométrie surtout à l'amont des embâcles | Deux types * rochers dans les rapides * sables et limons dans les plats Pas d'évolution (maintien des embâcles) <i>Un peu plus grossière (enlèvement des embâcles)</i> |
| Hydrodynamisme (Vitesses, profon- deurs & Nombre de Froude) Amélioration légère et surtout localisée du caractère courant | Amélioration générale initiale du caractère courant puis perte de l'amélioration (embâcle et comblement) | Amélioration légère et passagère du caractère courant | Augmentation des disparités entre types d'habitats | Pas d'évolution visible |
| Etat des berges | Forte érosion en rive gauche | Légère érosion en rive gauche (abreuvoir) | Pas d'érosion sensible | Erosion localisée |
| Eclairement | Nette amélioration puis légère régression <i>Vers état initial, partie médiane; dégradation amont et aval</i> | Amélioration peu durable <i>Vers état initial</i> | Amélioration peu durable <i>Vers état initial, voire dégradation</i> | Amélioration sensible <i>Maintien</i> |
| Ripisylve | Nlle embâcle Resserrement localisé (affaissement ?) <i>3 embâcles</i> | Ripisylve broutée RG (moutons) | Reprise des sou- ches redressées Nombreuses branches basses <i>Embroussaillage</i> | R.A.S. |

Tableau XVI : Effets des aménagements sur les compartiments biotiques en 1994 et 1997.

| SECTEURS Paramètres | Grand Etinoux amont | Grand Etinoux aval | Moulin Lassue | Bois du Triage |
|---|---|--|--|---|
| Ripisylve : Végétation Etat des souches | Recolonisation des berges par les saules Apparition de nouveaux embâcles Disparition de qq esp. | Débroussaillage Augmentation de la pénétration du bétail | Redressement de souches : rejets Apparition de nouveaux embâcles | R.A.S. |
| Macrophytes | Recolonisation (espèces rhéophiles + des étangs) temporaire <i>Vers état initial</i> | Extension des macrophytes en place (durable sur l'aval) <i>Régression notable</i> | Extension des macrophytes taches de lumière (surtout amont) <i>Vers état initial</i> | Bryophytes : pas de modifications |
| Invertébrés | Gain temporaire d'IBGN Toujours de très nombreux filtreurs Différences d'habitat | Gain important temporaire d'IBGN Maintien des spongiaires | R.A.S. | R.A.S |
| Poissons | Recolonisation temporaire (1 Truite) + sp. rhéophiles et des étangs) Augmentation Goujon Gardon, temp. Loche <i>Vers état initial</i> | Diminution des Chabot Augmentation (déplacement aval) des espèces d'étang <i>Vers état initial</i> | Diminution des truites pêchables Vieillessement population Chabot Rééquilibrage population de Truite <i>Vers état initial</i> | R.A.S. Variations interannuelles importantes |

52 - Résultats particuliers sur la ripisylve et ses interactions avec le cours d'eau

On a vu le rôle essentiel que joue la végétation ripicole dans l'ensemble de l'écosystème fluvial. La restauration du Tilleul s'est limitée à une action sur la végétation des berges (dégagement du lit, coupe sélective des brins des arbres, débroussaillage, ...). Il s'avère donc nécessaire de voir quelle a été l'évolution de cette végétation ripicole.

La gestion de la ripisylve en tête de bassin-versant est peu connue. Avec l'étude de la restauration du Tilleul on va essayer de comprendre un peu mieux quel est le fonctionnement de ce compartiment de l'écosystème et comment on doit agir pour sa gestion, par rapport aux objectifs préfixés:

- favoriser l'écoulement.
- augmenter la transmission lumineuse.
- assurer la stabilité des berges.
- faciliter l'accès à la rivière.

- maintenir une production en bois suffisante pour les besoins des riverains.

Le suivi de la végétation ripicole a été fait selon deux échelles différentes : à l'échelle de la station, et à celle de l'arbre.

521 - Analyse cartographique à l'échelle de la station

L'analyse cartographique de la ripisylve permet de dénombrer les individus et d'envisager les répartitions des différentes espèces. Sur cette carte on reporte:

- l'inventaire des arbres et arbustes des berges, en distinguant les arbres en cépées, les têtards, les arbres de hauts jets et les francs-pieds.
- les branches inclinées vers le lit à moins d'un mètre de l'eau, ainsi que les embâcles provoqués par des arbres tombés.
- on y adjoint aussi un repérage de la transmission lumineuse, directement liée au recouvrement. Elle est mesurée à des points représentatifs de l'éclairement.

Des exemples de ce très gros travail figurent en **Figure 70**.

Il en ressort que les phénomènes d'embâcles n'interviennent pas de façon imprévisible. Ainsi sur le Grand Etinoux amont 2, c'est à l'endroit d'un resserrement dû à un saule laissé en amont du Transect 2 que s'est formé un embâcle. Sur le Grand Etinoux amont 1, l'embâcle initial qui correspondait au resserrement juste à l'aval de l'abreuvoir avait été traité de façon drastique par élagage très sévère du saule responsable et reformation en têtard (figures 3 p. 26 et 27), mais c'est un peu plus en aval qu'un autre saule forme embâcle et favorise la sédimentation. Enfin, sur le Moulin Lassue amont 2, la branche inclinée de la cépée de Noisetier correspond à un risque important d'embâcle ultérieur, risquant de rendre à nouveau fonctionnelle la dérivation correspondant initialement à un abreuvoir.

Compte tenu de la lourdeur de ces études, celles-ci doivent rester très limitées, mais un suivi photographique ou cartographique s'avère un aide précieuse pour à la fois localiser les problèmes, suivre leur développement et comprendre certains aspects du fonctionnement hydro-géomorphologique du cours d'eau et des interrelations ripisylve-cours d'eau.

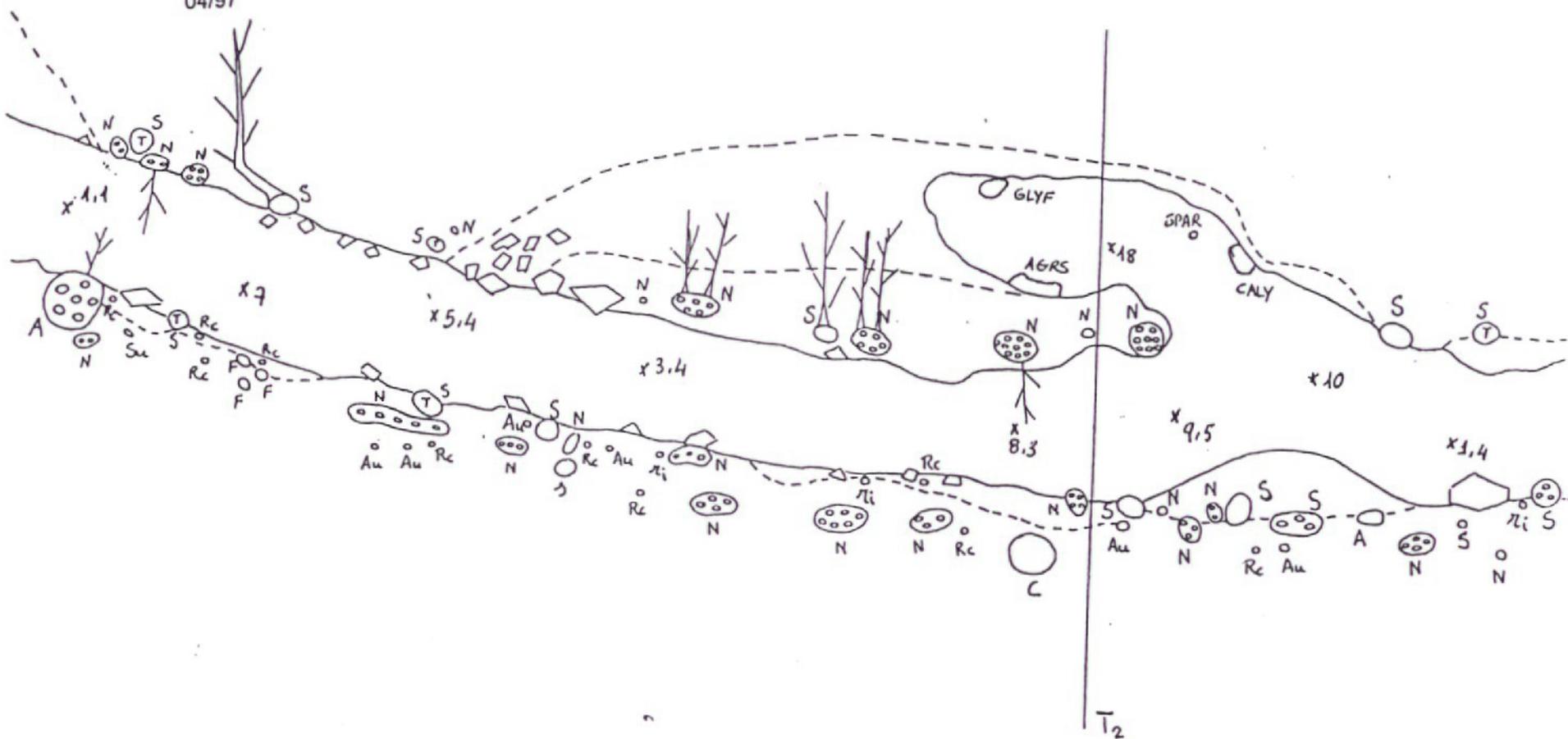
522 - Dynamique des brins à l'échelle de l'arbre (Annexe 8)

Problématique détaillée

A l'échelle de l'arbre, en avril 92, juin 94 et mai 97 ont été effectués des relevés de certaines souches dans chaque station. Ce travail comporte:

- une indication du nombre et du diamètre des brins supprimés lors de la restauration.
- un dénombrement des brins, une mesure du diamètre et l'indication de leur inclinaison. Sont distingués les brins nouveaux des brins déjà présents avant aménagement.
- des croquis des arbres.
- des observations sur l'état de l'arbre, son enracinement, ...

MOULIN LASSUE AMONT 2
 Ripisylve - Eclaircement - Macrophytes
 04/97



Figures 70C : Exemples de cartographie de la ripisylve et des transmissions lumineuses.

-LEGENDE DES CARTES-

Ripisylve - Lumière - Macrophytes



cépée



têtard



haut jet ou franc-pied



branches situées à moins d'un mètre au dessus de l'eau



limite en eau



limite de berge



empièchement



blocs



abreuvoir

x 10

% de transmission lumineuse au point considéré

| | | | |
|----|---------------------------------------|----|--|
| S | saule (<i>Salix purpurea</i>) | Au | aubépine (<i>Crataegus monogyna</i>) |
| A | aulne (<i>Alnus glutinosa</i>) | Pr | prunellier (<i>Prunus spinosa</i>) |
| F | frêne (<i>Fraxinus excelsior</i>) | Su | sureau (<i>Sambucus nigra</i>) |
| C | chêne (<i>Quercus sp.</i>) | V | viorne (<i>Viburnum oppulus</i>) |
| T | tilleul (<i>Tilia cordata</i>) | Ia | houx (<i>Ilex aquifolium</i>) |
| N | noisetier (<i>Corylus avellana</i>) | rc | églantier (<i>Rosa canina</i>) |
| P | peuplier (<i>Populus sp.</i>) | ri | groseiller (<i>Ribes rubrum</i>) |
| B | bouleau (<i>Betula pendula</i>) | s | souche |
| Fs | hêtre (<i>Fagus sylvatica</i>) | | |

r: renoncules

RANL: *Ranunculus peltatus*

CALY: *Callitriche platycarpa*

HELN: *Apium nodiflorum*

AGRS: *Agrostis stolonifera*

CALT: *Caltha palustris*

PHAL: *Phalaris arundinacea*

K: complexe *Hydrocotyle vulgaris* / *Ranunculus peltatus* / *Poa trivialis* / *Galium palustre* / *Callitriche platycarpa*

B: bryophytes

c: callitriches

RANR: *Ranunculus repens*

LEMN: *Lemna minor*

SOLD: *Solanum dulcamara*

GLYF: *Glyceria fluitans*

MENA: *Mentha aquatica*

SPAR: *Sparganium erectum*

Figures 70D : Légende des cartes des exemples de cartographie de la ripisylve et des transmissions lumineuses.

Le suivi doit permettre de rendre compte de la croissance des arbres et arbustes et de leur réaction aux coupes qui les ont affectés et de tenter de répondre à toute une série de questions :

- Quelle est l'évolution différentielle des souches, selon l'espèce, le type de traitement et l'intensité de la coupe,
- Quelle doit être l'intensité de la coupe pour obtenir la réponse désirée, selon l'espèce et le type de traitement.
- Quel doit être l'intervalle entre deux traitements successifs, selon l'espèce, le type de traitement et l'intensité de la coupe ?
- Quelles critiques peut-on apporter à la procédure utilisée et quelles propositions de suivi à l'étude peuvent-elles être formulées ?

La dynamique des brins des arbres de la ripisylve a donc été poursuivie sur 65 souches, de façon à mieux comprendre comment s'effectuent les drageonnements, et à conseiller les gestionnaires.

Traitement des données et principaux résultats (Annexe 8)

Il en ressort que les phénomènes déjà évoqués par STRACCHI *et al.* (1995) se poursuivent : croissance des brins rejetant sur les souches, sélection naturelle interbrins, développement de branches inclinées qui forment autant de sources potentielles d'embâcles pour l'avenir (BONO 1998). Les arbres reformés en têtards, saules et frênes, ont bien repris, et les redressements de souche ont été un succès, quoiqu'ils aient entraîné une multiplication des rejets, rejets qu'il faudrait désormais gérer.

En fonction de l'espèce

Les saules.

Le saule est l'espèce qui apparemment réagit le plus rapidement à la suppression de brins, avec une émission initiale importante de nouveaux brins (27 en moyenne). Le mécanisme d'auto-sélection des brins se déclenche rapidement, en vue de la diminution progressive et significative du nombre de nouveaux brins. D'autre part, les brins sélectionnés montrent une croissance importante: le saule est l'espèce pour laquelle les brins atteignent un diamètre moyen plus élevé (2,4 cm en moyenne), ce qui est constaté pour chaque période du suivi. Tout ceci nous permet de penser que le saule est probablement l'espèce la plus « adaptée » à ce genre de perturbations.

Les aulnes.

Apparemment, **l'aulne est l'espèce qui montre le plus de tendance à rejeter** (en moyenne, 25 nouveaux brins en 1992, 39 en 1994 et 31 en 1997). Néanmoins, les nouveaux brins montrent une croissance moins importante que dans le cas du saule, avec des diamètres moyens inférieurs à ceux du saule (diamètre moyen des nouveaux brins en 1997: 0.94 cm). La réponse à la suppression de brins semble être plus lente (le plus grand nombre de nouveaux brins est observé trois ans après la suppression, tandis que pour le saule il est observé un an

après le traitement) et l'auto-sélection de brins est moins importante. Il paraît donc que l'aulne réagit plus lentement à la perturbation qu'est l'élagage.

Les frênes.

Le frêne est une espèce qui montre une tendance naturelle à rejeter moins importante que dans le cas du saule ou de l'aulne. De même que pour l'aulne, l'auto-sélection de brins est peu importante et les nouveaux brins montrent une faible croissance, le diamètre moyen des brins en fin du suivi restant bien plus bas que dans le cas du saule (0,92 cm, par rapport à 2,4 cm pour le saule). Pour résumer, le frêne apparemment est moins adapté à ce genre de perturbations et met plus de temps à réagir que le saule.

Les noisetiers.

C'est une espèce qui rejette de souche et drageonne, et se constitue naturellement en cépée (avec des nombreux brins mais généralement de petite taille).

Dans le cas du noisetier, la suppression de brins ne provoque généralement pas une explosion de nouveaux brins. **Le noisetier rejette de façon modérée, mais la plupart des nouveaux brins restent vivants (auto-sélection peu importante).** On observe une croissance significative des nouveaux brins (le diamètre moyen est le plus élevé après celui des saules).

Les prunelliers.

Les prunelliers drageonnent très vigoureusement et constituent souvent des fourrés impénétrables, qui peuvent être utilisés comme obstacles naturels, par exemple pour interdire l'accès à la rivière au bétail.

Les aubépines.

L'aubépine rejette de souche, mais faiblement (multiplication généralement par semence). La croissance de rejets est lente. C'est une essence qui se situe en retrait de la berge et qui ne provoque pas un encombrement de la rivière. Il est donc intéressant de la favoriser puisqu'elle permet une consolidation de la berge et, d'autre part, elle peut servir à former des haies, en conjonction avec les prunelliers et le reste de la strate arbustive.

En fonction du type de traitement

Les cépées.

Après les souches redressées, c'est le type de structure de l'arbre sur lequel on observe une plus forte tendance à rejeter, suite à la suppression de brins.

Le saule réagit rapidement. Il rejette fortement initialement et le nombre de rejets diminue progressivement, en même temps que les brins sélectionnés montrent une augmentation significative du diamètre moyen. Pour l'aulne, la réponse est moins spontanée et l'auto-sélection de brins inférieure à celle du saule. Les diamètres moyens des nouveaux brins sont, pour les cépées d'aulnes, les plus élevés de l'espèce (les valeurs de diamètre moyen sont plus élevés pour les franc-pieds, mais on ne peut pas tenir compte de ces valeurs puisqu'elles concernent un seul individu). Les cépées de frênes rejettent peu, et moins que les haut-jets. Ceci est probablement lié au fait que l'intensité de la suppression a été plus forte dans le cas des haut-jets. Au vu de nos résultats, il paraît que les rejets de cépée ont une croissance plus forte que pour le reste des types de traitement.

Les haut-jets.

Les haut-jets réagissent de façon similaire aux cépées mais, en général, avec une croissance des rejets inférieure. Dans le cas du saule, le nombre moyen de rejets pour les haut-jets est sensiblement inférieur à celui des cépées.

Les souches redressées.

Ce type d'intervention, coupe systématique à une hauteur d'un mètre sur des individus âgés et de grande taille qui étaient couchés à l'intérieur du lit du ruisseau, engendre une explosion de nouveaux brins, la plus forte observée.

Les saules, à différence des frênes, réagissent plus rapidement à cette coupe, avec une plus forte et rapide sélection de brins et une plus grande croissance des brins sélectionnés (diamètres moyens plus élevés dans le cas du saule). On ne dispose que des données concernant deux saules et un frêne, ce qui est insuffisant pour établir des conclusions fiables. Néanmoins, on peut dire que ce type d'intervention est possible et intéressant puisqu'il n'a pas entraîné la mort des arbres.

Les têtards.

Pour ce type de structure de l'arbre, on ne dispose que des données concernant deux saules. Ces individus ont très faiblement rejeté. Le nombre de nouveaux brins et leur diamètre moyen pour ce type de traitement sont les plus faibles observés chez le saule.

Les franc-pieds.

On ne dispose que des données concernant trois franc-pieds (un aulne et deux frênes). Bien qu'aucune coupe n'ait été réalisée sur ces individus, on observe chez l'aulne l'apparition de quelques nouveaux brins, ce qui indique une tendance naturelle à rejeter. Les frênes n'ont pas rejeté.

En fonction de l'intensité de la coupe de la sélection des brins

Les saules.

Une forte intensité de coupe sur des cépées âgées et de grande taille se traduit par une explosion du nombre de brins. Le maintien d'un tire-sève de diamètre important réduit considérablement la quantité de rejets et permet une plus forte auto-sélection. Toutefois, le nombre de rejets reste élevé. Par contre, sur des cépées constituées par des tiges de faible diamètre, la repousse est beaucoup moins importante, malgré une forte intensité de coupe.

En général, la suppression de gros brins entraîne de nombreux rejets, tandis que la suppression de nombreux brins de faible diamètre ne provoque pas une forte repousse.

Le redressement de souches entraîne une explosion de rejets, car cette intervention s'effectue sur des individus âgés et sur lesquels on ne conserve aucun tire-sève. Dans le cas du saule, on a observé une auto-sélection et une croissance des brins notables. Toutefois, le nombre de brins en fin du suivi est encore très élevé.

Pour le saule, l'âge de la souche est aussi un facteur important de différenciation.

Enfin, on observe une tendance naturelle des saules à rejeter mais, à la différence de l'aulne, les rejets sont moins nombreux et leur croissance plus forte.

Les aulnes.

Au vu des résultats obtenus, il semblerait que les souches âgées et de grosse taille rejettent fortement, même avec une faible intensité de coupe, et même si l'on maintient un ou plusieurs tire-sève de diamètre important. Toutefois, et à la différence du saule, ces rejets n'ont pas une croissance importante. Par contre, les souches jeunes rejettent plus faiblement, indépendamment de l'intensité de l'intervention.

Il semble donc que **le facteur majeur de différenciation dans le cas de l'aulne est l'âge.**

L'apparition de nombreux rejets sur des souches qui n'ont pas été l'objet de coupe ni d'élagage (à relier à l'augmentation de l'éclaircie suite au dégagement de la ripisylve) montre une tendance naturelle de l'aulne à rejeter et à se constituer comme cépée.

Les frênes.

Le frêne, contrairement au saule et à l'aulne, montre une plus **faible tendance à rejeter**, étant donné que les individus qui n'ont pas été traités, ou sur lesquels la coupe a été faible, n'ont pratiquement pas rejeté. On observe également une réponse plus tardive et une faible croissance des nouveaux brins. De même que pour le saule et l'aulne, la présence de tire-sève de diamètre important permet une plus forte sélection de brins.

Une intensité de coupe très forte concernant des brins de petite taille entraîne un nombre de rejets assez élevé, mais inférieur à celui qu'on peut observer sur un saule ou un aulne de caractéristiques similaires. Mais ceci a été constaté pour un seul individu puisque pour le reste des frênes étudiés l'intensité de coupe a été généralement faible, et cette coupe a concerné des brins de diamètre peu important, ce qui explique le faible nombre de rejets observés.

Un individu âgé a été l'objet d'une coupe très forte. Il s'agit d'un cas de redressement de souche sur un frêne qui était constitué par deux brins de diamètre très important. Cette intervention a entraîné une explosion très forte de rejets, même plus nombreux que dans le cas du saule. Si le frêne rejette moins que le saule ou l'aulne quand on coupe des nombreux brins de taille peu importante, on ne peut pas dire quelle est la réponse de l'arbre quand on coupe des plus gros brins.

Les noisetiers.

Les cépées constituées par des brins de diamètre important rejettent plus fortement que les cépées plus jeunes. La sélection de plusieurs brins de diamètre important limite le nombre de rejets. A l'inverse, la suppression de la quasi totalité des brins provoque chez le noisetier une forte repousse.

523 - Analyse critique de la méthodologie

Compte-tenu de l'absence de références préliminaires, la méthodologie mise en place pour le suivi du Tilleul a dû être élaborée *de novo* (HAURY, 1994). L'expérience acquise tout au long de l'étude a permis de mettre en évidence les atouts et les limites de la méthodologie utilisée.

** Les différentes échelles utilisées.*

La partie cartographique s'avère très lourde et nécessiterait d'être confiée à un unique observateur afin de limiter une trop forte variation des estimations visuelles. Toutefois, elle permet de replacer les phénomènes dans leur contexte et de les visualiser. *A priori*, elle pourrait être limitée aux zones susceptibles de changer.

La méthode des transects, pour être réellement précise, nécessite l'unicité des observateurs. Malgré cela, les résultats restent interprétables tant qu'il ne s'agissent pas d'estimations visuelles, où interviendrait l'effet observateur. Toutefois, cette méthode est trop dépendante de la saison et du moindre décalage dans l'espace.

Le faciès d'écoulement constitue une échelle d'étude très intéressante, car les caractéristiques du milieu et les biocénoses qu'on y rencontre (flore et faune) sont nettement différenciées. Mais, là encore l'effet observateur peut introduire un biais dans les estimations.

** Les différents compartiments étudiés.*

La lourdeur des opérations amène à envisager une simplification des protocoles. Dans ce but, toute une série d'analyses statistiques (A.C.P., A.C.M., A.F.M., A.C.C., etc.) permet de sélectionner les variables le plus pertinentes pour analyser l'évolution de l'ensemble des écosystèmes (HAURY & BIANNIC, 1998). Pour cette étude statistique sont utilisées les données de l'ensemble des cours d'eau de l'Observatoire des Rivières. Les variables sélectionnées pour ce protocole allégé sont susceptibles d'être modifiées, en fonction des résultats des tests en cours.

- Les **analyses de souches** semblent une voie prometteuse. Toutefois, la méthode demande à être affinée: en prenant les diamètres non seulement au pied, mais aussi à 1,30 m; en effectuant une détermination de l'âge de la souche et de l'ampleur de la souche à la base; en s'interrogeant sur quel est l'effet sur les capacités de rejet de la souche de certaines variables, comme l'âge des souches, les conditions micro-écologiques (distance à l'eau, conditions d'éclairement), et les caractéristiques du traitement (intensité du traitement, taille des brins supprimés et sélectionnés). L'unicité de l'observateur serait préférable pour que les données concernant les différentes périodes soient comparables.

6 - EVOLUTION DES PEUPEMENTS STATIONNELS ENTRE LES TROIS PHASES

61 - Résultats par compartiment

Ces résultats par compartiments ont été étudiés par deux méthodes complémentaires : la méthode STATIS de comparaison globale des tableaux, qui sera présentée essentiellement, et des A.F.M.

La méthode STATIS compare des tableaux normés et donne une vision très synthétique de l'évolution globale de chacun des compartiments, tout en mettant clairement en évidence les stations et les variables impliquées dans les différences, et donc dans l'évolution.

Les numéros des tableaux correspondent aux phases correspondantes. Une vision synthétique des résultats est fournie par la projection des tableaux dans les plans factoriels (Figures 71)

611 - Chimie

Pour la chimie, il ressort que les trois tableaux sont assez proches (les produits scalaires entre tableaux varient entre 0,996 et 1). Toutefois, des différences entre périodes sont sensibles : la distance entre les tableaux s'accroît au cours du temps.

La dispersion entre les tableaux est due à la Vée, la Halouze et la Blandinière qui témoignent donc d'une certaine évolution de leur qualité de l'eau.

Les paramètres déterminant la variabilité inter-phases sont la conductivité et les nitrates.

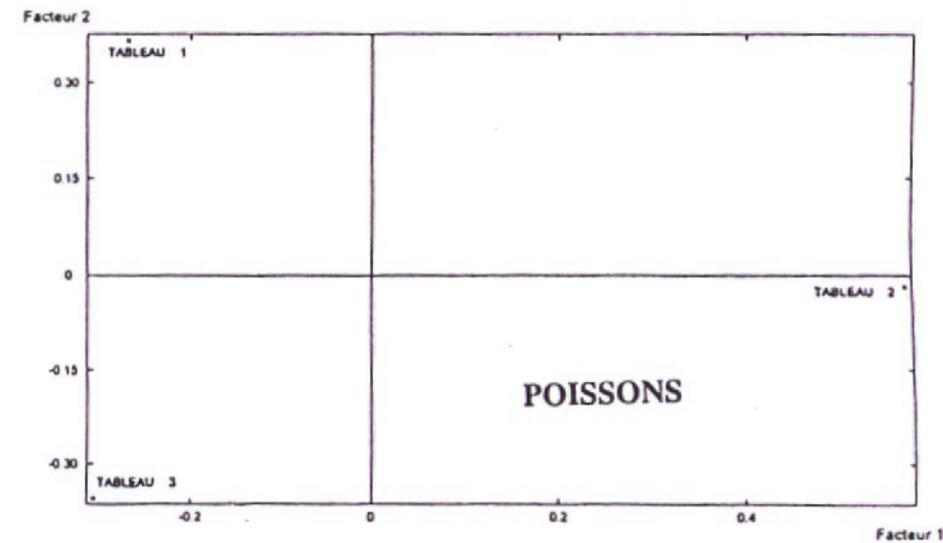
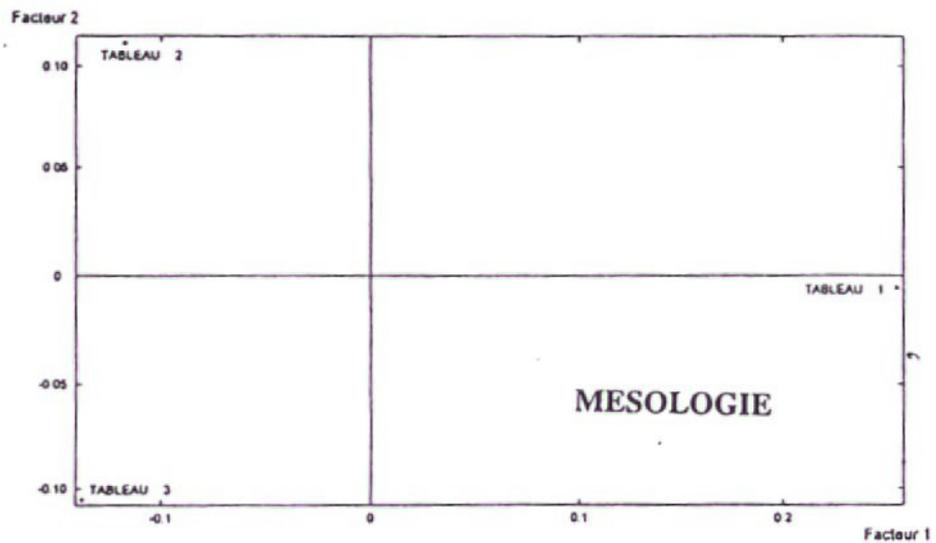
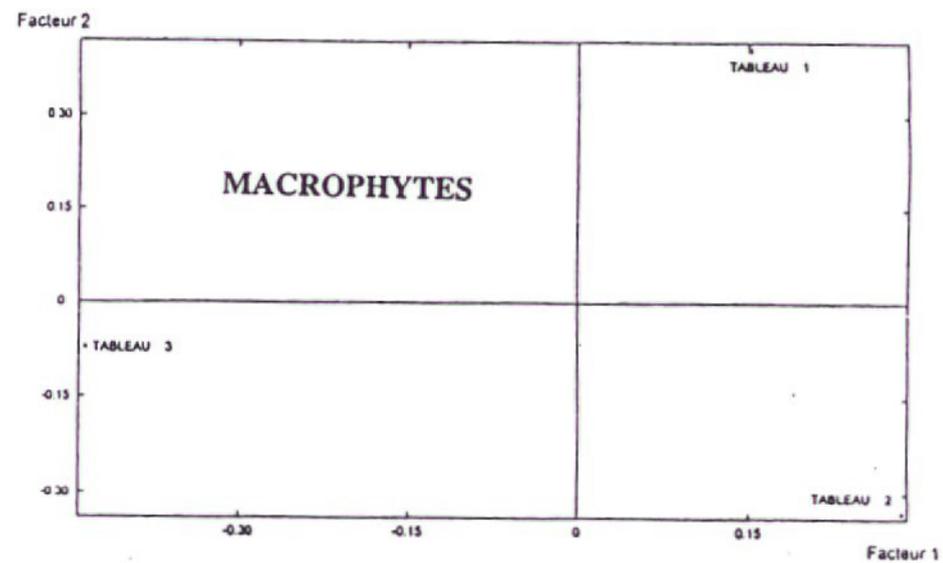
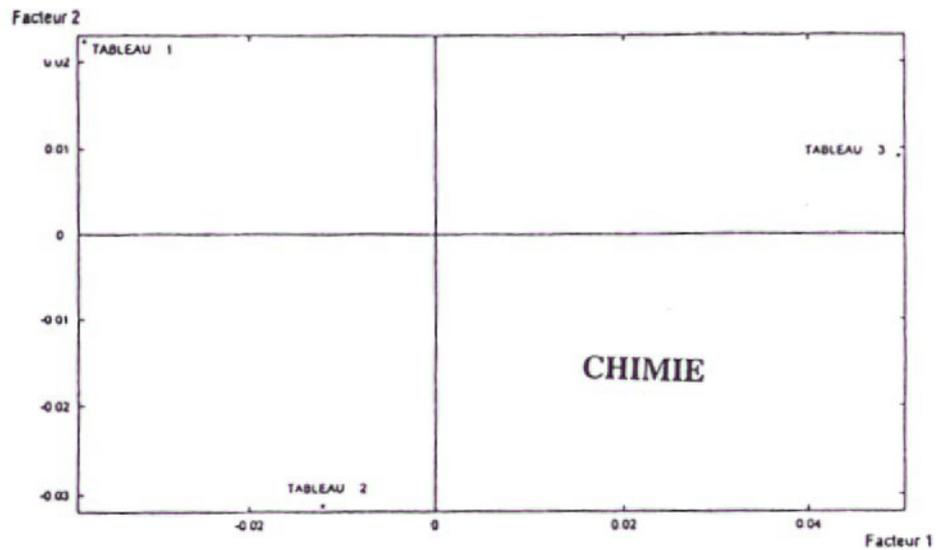
612 - Mésologie

La distance entre tableaux augmente au fil du temps. L'écart majeur correspond à la différence entre les phases 1 et 2. On voit là l'effet du changement de la station d'étude : quel qu'ait été l'effort de raccourcir logiquement ces stations, un biais apparaît.

Différence entre le tableau 1 et les autres tableaux

Les stations qui montrent le maximum de variabilité sont la Vée, la Halouze et le Choisel. Dans chacun de ces cas, la réduction s'est traduite par la suppression de sous-secteurs identifiés par exemple au niveau des macrophytes (HAURY 1994).

Les variables responsables de cette variabilité sont essentiellement l'argile et les friselis.



Figures 71 : Projection des tableaux des analyses par compartiment.
Les numéros des tableaux correspondent aux phases.

Différences entre le tableau 2 et les autres tableaux

La variabilité maximale entre le tableau 2 et les deux autres tableaux est due à la Vée.

La différence entre le tableau 2 et le tableau 3 est due au Gué Chartier. Ce sont alors les friselis, l'écoulement lisse, les sables et graviers qui font la différence entre ces deux tableaux.

613 - Macrophytes

Les résultats sont plus intéressants que pour le milieu physique. En effet, certaines espèces apparaissent ou disparaissent de l'échantillon : *Elodea canadensis*, *Callitriche truncata*, ... Toutefois, ces espèces rares sont éliminées d'emblée des tableaux analysés où sont considérées les espèces suffisamment présentes.

Comme pour la plupart des compartiments, la distance entre tableaux augmente au cours du temps.

La dispersion du nuage des tableaux est essentiellement due au Roche Elie, à l'Udon amont, à la Plesse, et à la Gourbe, et secondairement à la Mousse, au Gué Chartier, au Grand Etinoux aval et à la Blandinière.

Les espèces responsables de ces variations sont les cyanobactéries, *Melosira* sp., *Ranunculus peltatus*, *Vaucheria* sp. et *Scapania undulata*.

614 - Poissons

Pour les poissons, deux passages ont été nécessaires, en raison du poids statistique des populations de l'Ecrevisse à pattes blanches : le plan factoriel de la Figure 71 correspond à une omission de cette espèce.

Pour la première analyse, le tableau 3 est plus proche du tableau 1 que du tableau 2, la dispersion du nuage des tableaux étant due essentiellement au Gérard, et, dans une moindre mesure, à la Vée et au Grand Etinoux aval. La variable explicative de cette dispersion est essentiellement l'Ecrevisse. Le Vairon et le Chabot contribuent significativement à cette dispersion.

La seconde analyse sans l'Ecrevisse, fait apparaître une structure plus habituelle, même si le tableau 3 est plus proche du tableau 1 que du tableau 2. Il semble donc avoir un effet année 1994 important. Les stations les plus hétérogènes entre les phases sont la Plesse, la Vée et le Grand Etinoux aval. Les populations qui semblent avoir le plus varié étant celles du Chabot, du Vairon et de la Lamproie de Planer.

Au vu de ces analyses qui sont confortées par les résultats des A.F.M., il apparaît une forte variabilité biologique des stations, ce qui confirme tout l'intérêt d'un Observatoire des rivières, et, au-delà, d'un réseau comme le R.H.P.

Toutefois, l'analyse par compartiments séparés ne met pas en évidence la variabilité de l'ensemble des compartiments et les structures communes de cette variabilité. C'est le but de l'A.F.M. générale.

62 - Résultats d'ensemble

Les résultats de l'A.F.M. d'ensemble correspondent à l'analyse conjointe de 12 groupes : 3 phases x 4 compartiments (à l'exclusion des invertébrés benthiques). Les numéros des groupes sont les suivants :

- Groupes 1 à 3 : Mésologie (Méso1 à 3)
- Groupes 4 à 6 : Chimie (Chi1 à 3)
- Groupes 7 à 9 : Poissons (Poi1 à 3)
- Groupes 10 à 12 : Macrophytes (Mac1 à 3)

621 - Paramètres généraux

Structure d'ensemble

La structure d'ensemble est nettement quadri-dimensionnelle, les 4 premiers facteurs portant 43,9 % de l'inertie totale.

Liaisons entre les groupes

La liaison entre les groupes (Lg) est souvent forte à l'intérieur des phases d'un même compartiment.

C'est entre compartiments différents que ces corrélations sont intéressantes. Pour la mésologie, les liaisons les plus fortes sont :

- * 0,89 entre Méso1 et Poi1, ce qui suppose que les poissons de la première phase sont très dépendants du milieu physique de la même phase,
- * 0,84 entre Méso1 et Mac1
- * 0,98 entre Méso2 et Mac1, ce qui suppose que la mésologie de la seconde phase n'est pas si différente de la première phase qu'elle ne puisse expliquer les peuplements macrophytiques.

Les compartiments de chimie sont très peu corrélés avec les compartiments poissons, mais un peu plus avec les macrophytes.

Les relations macrophytes-poissons sont beaucoup plus importantes, notamment entre les poissons de la phase 1 et les trois groupes de macrophytes.

Corrélations entre les variables canoniques et les facteurs de l'analyse globale

Les corrélations entre les variables canoniques et les facteurs de l'analyse globale font apparaître un premier facteur commun à l'ensemble des groupes. Les facteurs 2, 3 et 4 sont surtout relatifs aux groupes poissons et macrophytes.

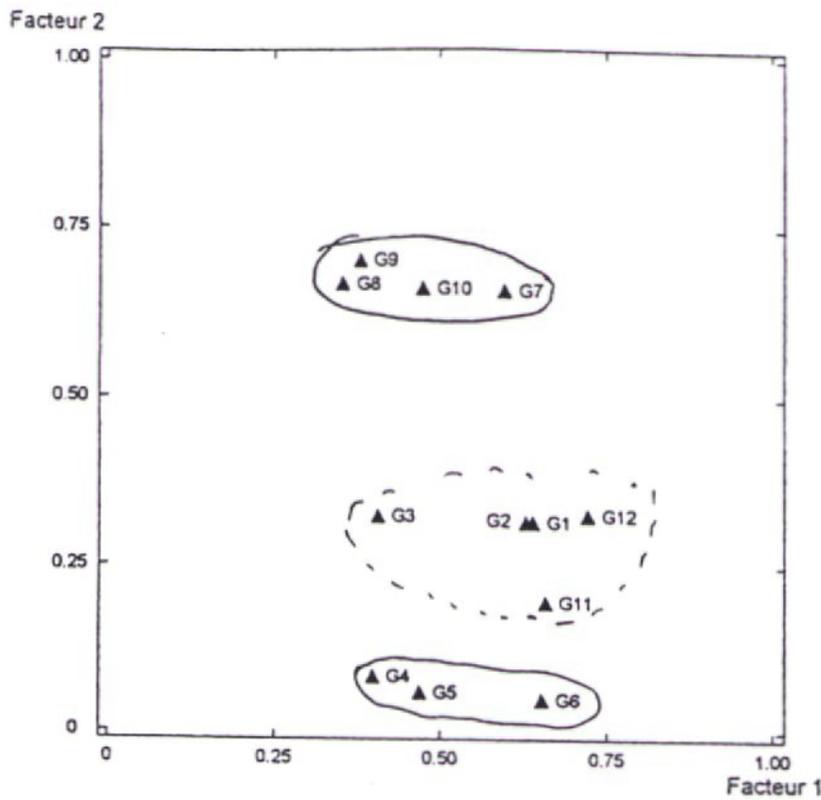


Figure 72 : Répartition des groupes de variables dans le plan factoriel F1xF2 de l'AFM générale

Groupes 1 à 3 : Mésologie; Groupes 4 à 6 : Chimie; Groupes 7 à 9 : Poissons; Groupes 10 à 12 : Macrophytes.

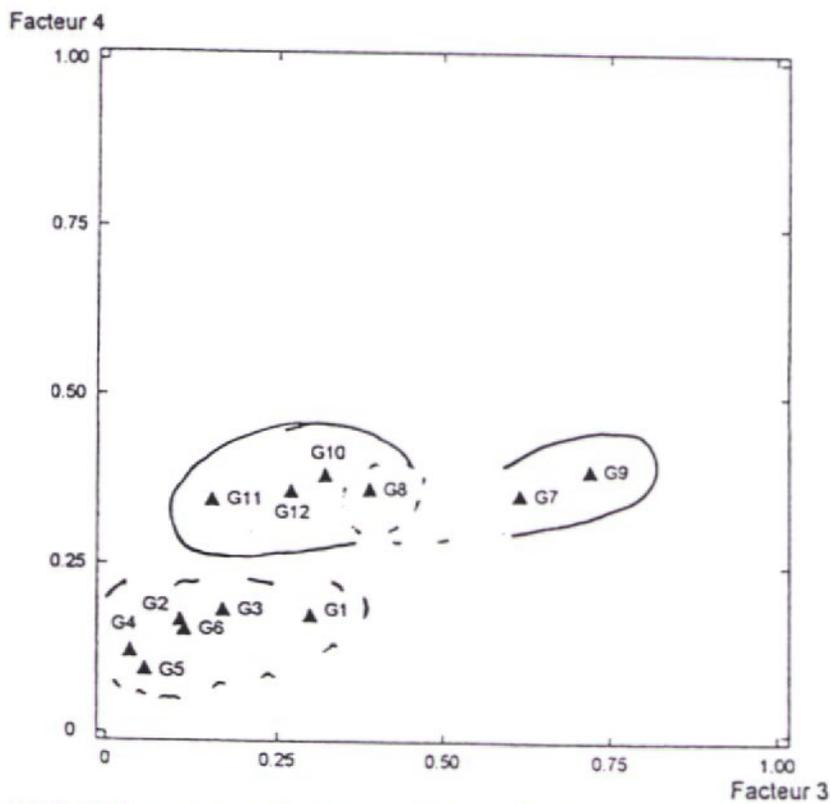


Figure 73 : Répartition des groupes de variables dans le plan factoriel F3xF4 de l'AFM générale

Groupes 1 à 3 : Mésologie; Groupes 4 à 6 : Chimie; Groupes 7 à 9 : Poissons; Groupes 10 à 12 : Macrophytes.

622 - Examen des plans factoriels

Examen des plans factoriels / Groupes (Figures 72 et 73)

Dans le plan factoriel F1 x F2, les poissons des 3 phases et les macrophytes de la phase 1 se distinguent nettement. Un deuxième groupe est formé par les macrophytes des deux autres phases et par la mésologie. Enfin, la chimie apparaît comme assez homogène, avec néanmoins une variation selon l'axe 1.

Dans le plan factoriel F3 x F4, on retrouve l'originalité des poissons, pour les phases 1 et 3. Les poissons de la phase 2 et l'ensemble des macrophytes semblent nettement reliés. Enfin, les paramètres du milieu physique et de la chimie sont regroupés.

A l'évidence, les compartiments poisson, et, dans une moindre mesure, macrophyte, s'avèrent assez particuliers et réactifs.

Examen des plans factoriels / Variables (Figures 74 et 75)

Axe 1

Pour la mésologie, cet axe est lié au type d'écoulement

Pour la chimie, toutes les variables sont opposées au caractère courant, et traduisent donc un effet aval.

Pour les macrophytes, ce sont essentiellement les renoncules, callitriches, aches, myosotis et iris, ainsi que *Leptodictyum riparium* 1, *Melosira* 3 et *Vaucheria* 3 qui caractérisent la partie négative de l'axe 1. Ces espèces s'opposent à *Scapania undulata* 1 et 2 et *Chiloscyphus polyanthus* 2 et 3.

Pour les poissons, les densités de Loche franche 1, 2 et 3, de Gardon 1 caractérisent la partie négative de l'axe. Les densités des truites des 3 phases caractérisent sa partie positive.

Axe 2

Pour la mésologie, les substrats fins et l'écoulement lisse caractérisent la partie négative de l'axe et s'opposent aux blocs et à l'écoulement turbulent (3 phases).

La chimie n'a pas d'influence sur l'axe 2.

Pour les poissons, les cyprinides et carnassiers atypiques s'opposent aux densités de Truite 1.

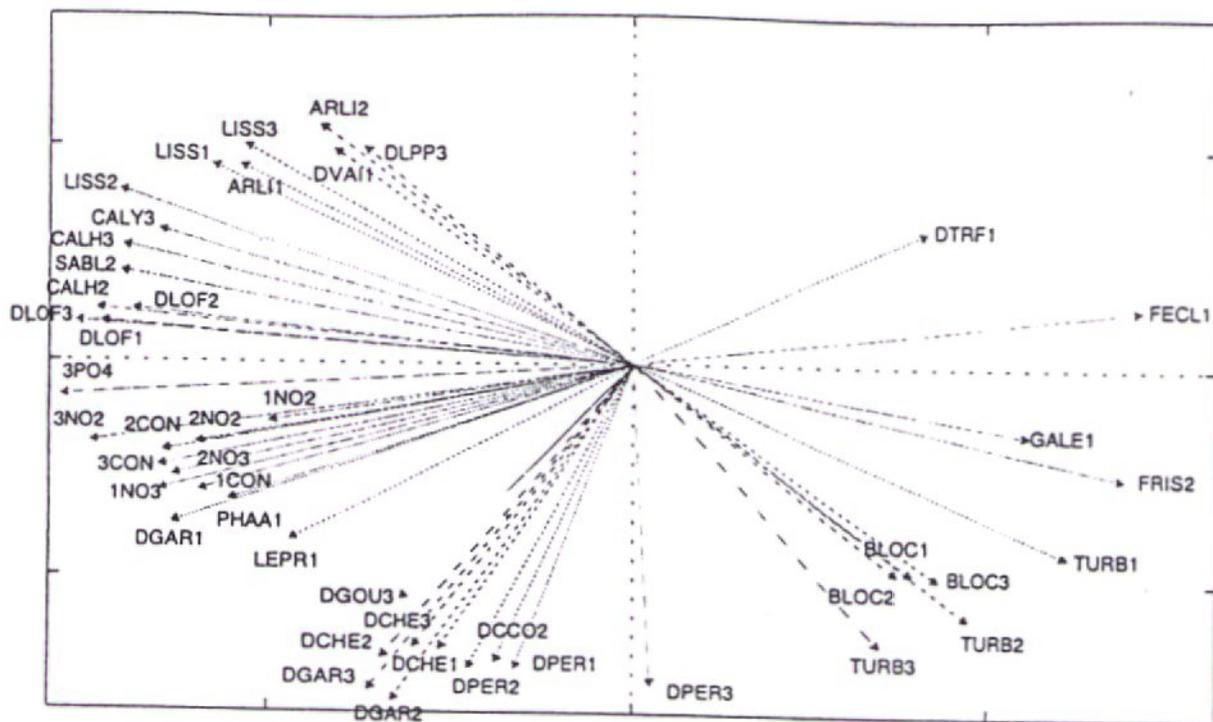
Axe 3

Pour l'axe 3, la mésologie contribue essentiellement par les graviers sur la partie négative de l'axe.

Les poissons opposent l'Epinochette et l'Anguille, ainsi que la Vandoise 3 au Chabot 1 et 3 et à la Lamproie de Planer 3

Pour les macrophytes, *Glyceria fluitans* 3 est opposée à *Callitriche platycarpa* 1.

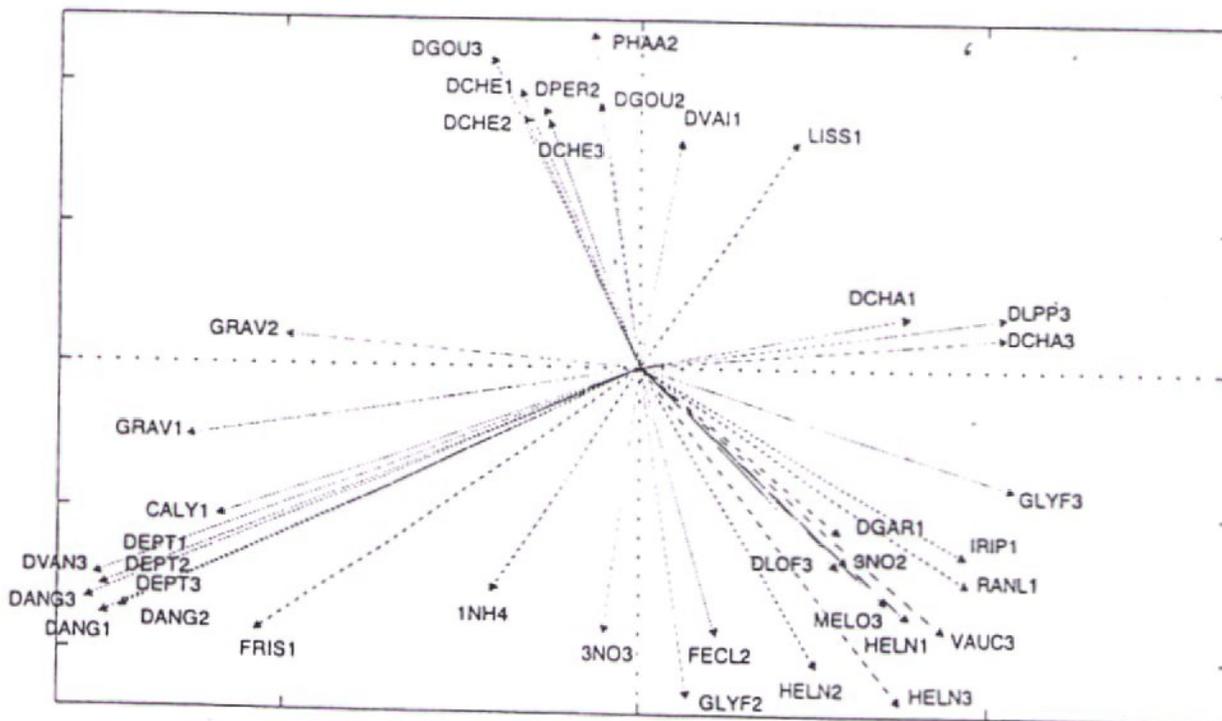
Facteur 2



Facteur 1

Figure 74 : Répartition des variables dans le plan factoriel F1xF2 de l'AFM générale
Le chiffre indique la phase.

Facteur 4



Facteur 3

Figure 75 : Répartition des variables dans le plan factoriel F3xF4 de l'AFM générale
Le chiffre indique la phase.

Axe 4

Pour la mésologie, cet axe oppose le nombre de faciès d'écoulement en phase 2 à l'écoulement lisse en phase 1.

Pour la chimie, la partie négative de l'axe est caractérisée par l'ammonium de la phase 1 et les nitrates de la phase 3.

Pour les poissons, la partie positive de l'axe est caractérisée par les densités de Chevesne, de Goujon, de Perche 2 et de Vairon 1.

Enfin, pour les macrophytes, il y a une opposition entre *Phalaris arundinacea* 2, et *Apium nodiflorum* (3phases), *Glyceria fluitans* 2, *Melosira* sp. 3 et *Vaucheria* sp. 3

Examen des plans factoriels / Individus (stations) (Figures 76 et 77)

Axe 1

Les contributions des individus à l'axe 1 correspondent à l'« effet Tilleul » qui s'oppose aux stations oligotrophes à bassin versant forestier : Gué Chartier (36,3 %) et Grand Etinoux amont (8,1 %) pour la partie négative de l'axe, Fendrie (10,7 %), Mousse (12,9 %) et Roche Elie (9,6 %) pour sa partie négative.

Cet axe apparaît comme un axe de gabarit des cours d'eau et d'écoulement, mais aussi d'eutrophisation.

Axe 2

La Gourbe contribue fortement et négativement à l'axe 2 (21,7 %), de même que le Tilleul au Grand Etinoux amont (23,9 %) et aval (11,8 %). Ces stations s'opposent à la Vée (9,8 %).

Cet axe 2 traduit la perturbation des peuplements pisciaires sous l'influence des étangs.

Axe 3

Sur cet axe, les stations du Gué Chartier (12,2 %), et de la Plesse (11,2 %) contribuent à la partie négative de l'axe. Elles s'opposent à la Rouvre qui contribue le plus fortement à l'inertie de l'axe (54,9 %).

Cet axe différencie les stations diversement perturbées : recalibrées et courantes avec beaucoup de Chabot mais aussi de Lamproie (Plesse, Gué Chartier), par rapport à la Rouvre, plus envasée et végétalisée.

Axe 4

Rouvre (14,7 %), Gué Chartier (15,7 %), et Yvrande (12,5 %) contribuent à la partie négative de l'axe 4, alors que la Halouze (10,3 %) et le Grand Etinoux amont (19,7 %) contribuent pour sa partie positive.

Cet axe apparaît comme un axe marquant l'influence aval, le recalibrage et l'élargissement du lit du Gué Chartier, ainsi que la fosse de l'amont favorisant le maintien d'espèces de cyprinides d'eau vive.

En conclusion, la hiérarchie des facteurs de distribution apparaît nettement au vu de l'interprétation des axes factoriels de l'ensemble :

- gabarit des stations, eutrophisation,

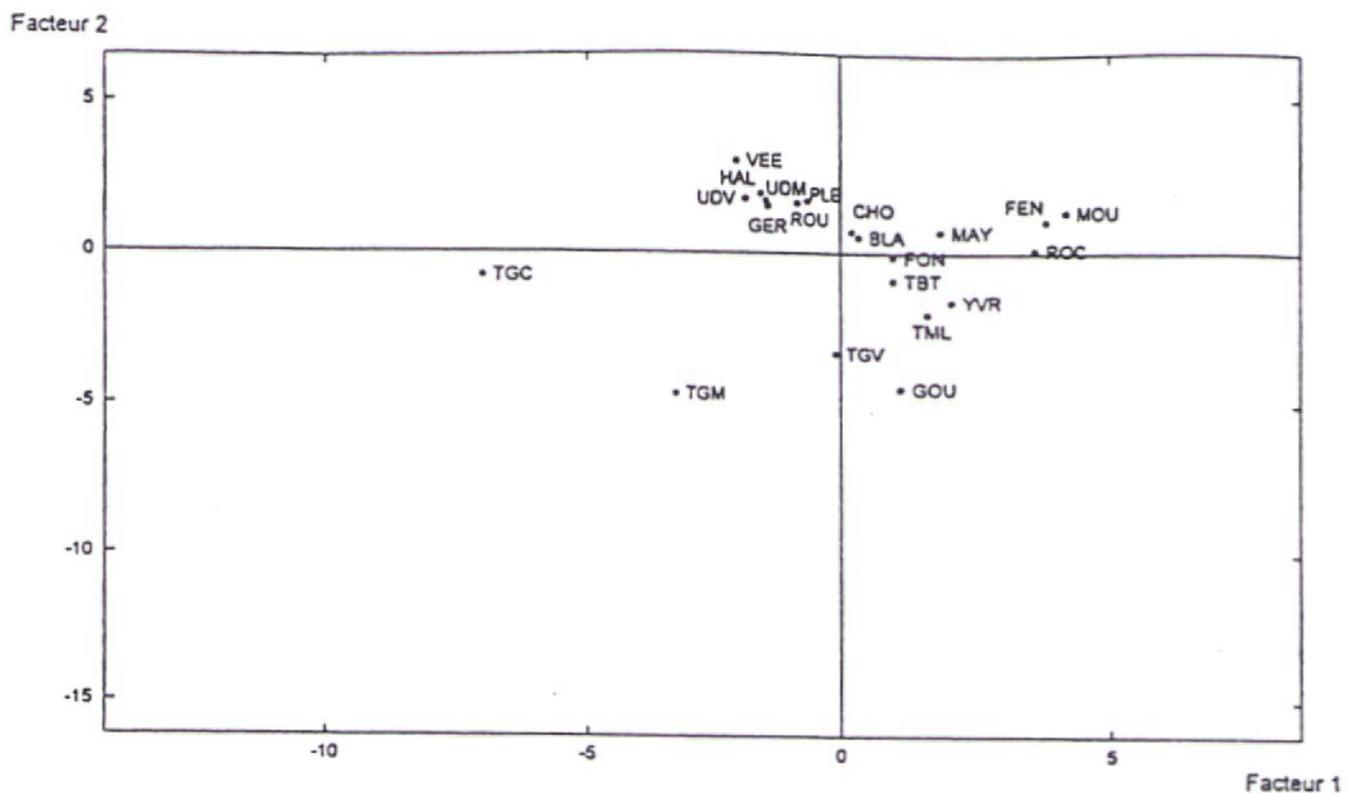


Figure 76 : Répartition des individus dans le plan factoriel F1xF2 de l'AFM générale

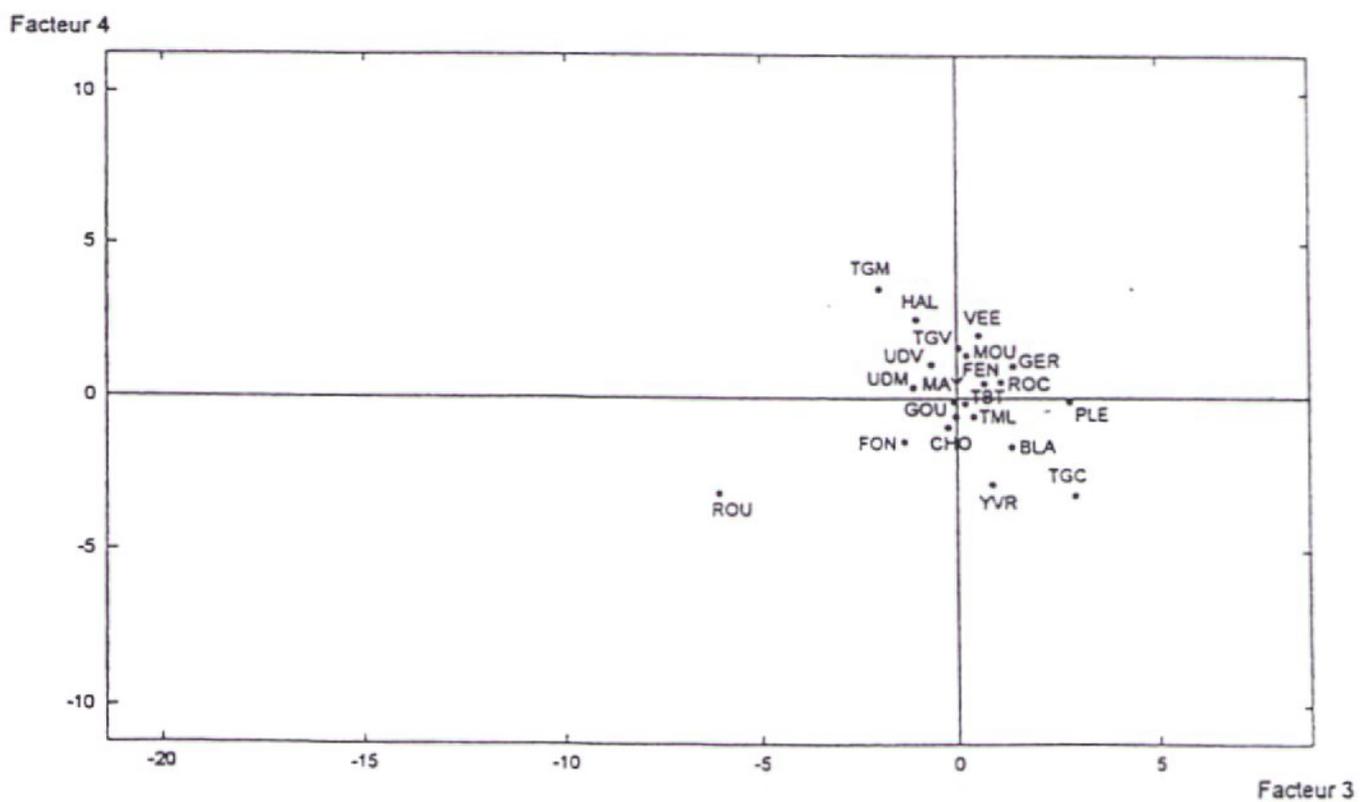


Figure 76 : Répartition des individus dans le plan factoriel F2xF3 de l'AFM générale

- perturbation du peuplement pisciaire due à la présence d'étangs,
- différenciation entre les stations recalibrées mais restant courantes et les stations colmatées,
- l'enrichissement pisciaire des stations aval ou surdimensionnées.

63 - Conclusion : une stabilité précaire et de multiples évolutions dont le déterminisme et l'importance restent à étudier

En conclusion, hormis pour la chimie où les trois phases donnent des résultats très proches, de multiples changements et évolutions apparaissent et donnent des images différenciées selon les compartiments, les variables et les stations.

Les variables des différentes phases n'ont pas des poids équivalents, ce qui est notamment dû à des changements des différentes valeurs. Ainsi, certaines populations déterminent-elles le poids du compartiment auquel elles appartiennent.

Comme dans les analyses séparées des groupes ou des phases, beaucoup de cas particuliers ressortent : les stations de l'amont du Tilleul, la Plesse, la Gourbe, la Rouvre, et bien sûr les trois stations oligotrophes de la Fendrie, de la Mousse et du Roche Elie.

Des facteurs de différenciation temporelle sont très liés au compartiment végétal, avec des processus de recolonisation ou de régression-disparition d'espèces, en fonction de la fermeture de la canopée après recalibrage ou nettoyage, après vidange.

Des espèces pisciaires ou d'écrevisses montrent des variations également très importantes, à la fois en terme de densité, mais aussi avec des apparitions ou disparitions d'espèces, notamment en fonction de l'hydraulicité de l'année et des colonisations à partir des étangs.

Toutefois la fréquence, l'intensité et le déterminisme des changements à la fois des paramètres mais aussi de la structure des groupes restent encore largement à étudier. Un changement d'échelle est souvent nécessaire compte tenu des faibles longueurs de cours d'eau affectées par l'apparition ou la disparition d'une espèce de macrophyte ou de poisson ou d'un abreuvoir, d'un embâcle, ... Ceci justifie donc d'étudier spécifiquement le faciès d'écoulement.

7 - DISTRIBUTION DES MACROPHYTES ET DES POISSONS A L'ECHELLE DU FACIES D'ECOULEMENT

La justification du passage à cette échelle d'étude, qui constitue l'unité d'échantillonnage, repose sur l'hypothèse principale selon laquelle le faciès d'écoulement représente l'unité hydrodynamique à l'échelle du cours d'eau et qu'il constitue par conséquent l'unité de structuration des habitats piscicoles et macrophytiques en particulier.

71 - Analyse par compartiment à l'échelle du faciès pour un même ruisseau

Outre les relations qui peuvent être établies entre un facteur isolé et les distributions spécifiques (ou abondances spécifiques), par la méthode des profils écologiques (DAGET & GODRON 1982, DANIEL & HAURY 1996) ou les corrélations telles qu'elles apparaissent entre facteurs dans la matrice de corrélations, il semble plus intéressant de relier ces paramètres biotiques à un ensemble fonctionnel, le faciès d'écoulement.

Trois approches complémentaires ont donc été utilisées pour décrire la distribution des macrophytes et des poissons à l'échelle du faciès d'écoulement :

- la distribution dans les faciès d'une même station,
- la distribution dans tous les faciès d'un même type visuel pour une même période,
- la distribution selon une typologie multidimensionnelle des faciès.

711 - Analyse par la méthode des profils écologiques (phase 2)

Cette distribution apparaît très nettement aux opérateurs de terrain, tant botanistes qu'ichthyologistes. Elle peut s'exprimer en terme de présence ou d'importance relative des populations, de biomasse, de recouvrement.

Toutefois, sauf à allonger de façon considérable les stations, cette distribution ne peut être mise en évidence que sur les petits cours d'eau où le nombre de faciès d'écoulement par 100 mètres linéaires. Il est alors possible de faire apparaître non seulement les distributions, mais aussi leur variabilité.

Par exemple, sur la Blandinière (**Figure 78**), où l'on trouve 5 radiers (RD5), 3 rapides (RP3), 10 plats courants (PC10), 6 plats lents (PL6) et 4 profonds et demi-profonds (PR4), les pourcentages de recouvrement (qui correspondent à l'abondance relative) de 4 macrophytes font ressortir la très grande rhéophilie de l'algue *Lemanea* sp. et de la mousse *Oxyrrhynchium ruscifforme*, la moindre inféodation au courant de l'hépatique *Chiloscyphus polyanthus* qui colonise néanmoins préférentiellement les radiers, et le caractère plus lénitophile de *Fontinalis antipyretica*.

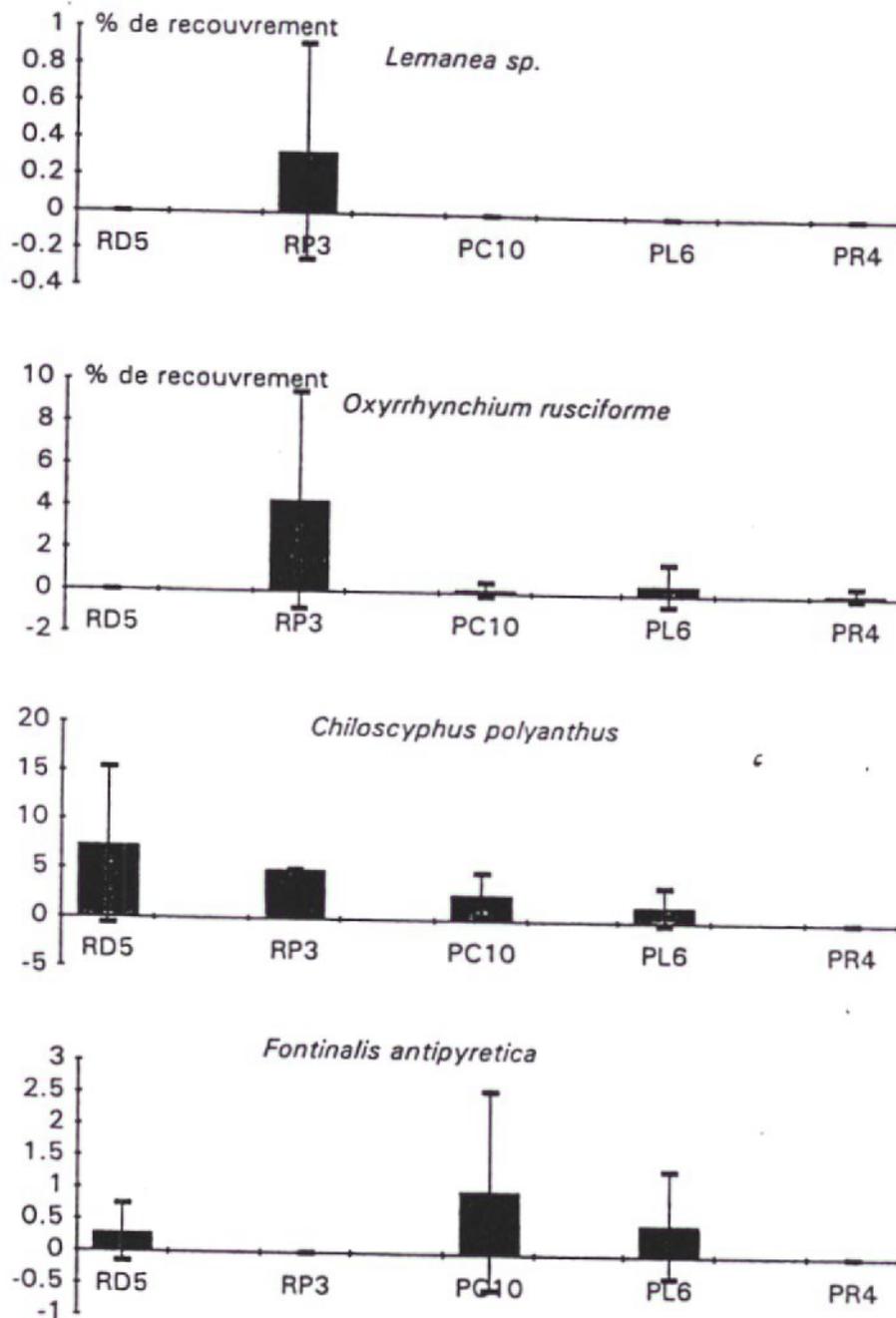


Figure 78 : Recouvrements (profils écologiques d'abondance relative) de 4 macrophytes sur la Blandinière lors de la phase 2.

Les chiffres correspondent au nombre de faciès (RD : radier; RP : rapide; PC: plat courant; PL : plat lent; PR : profond et demi-profond), et les barres verticales à l'écart-type des valeurs.

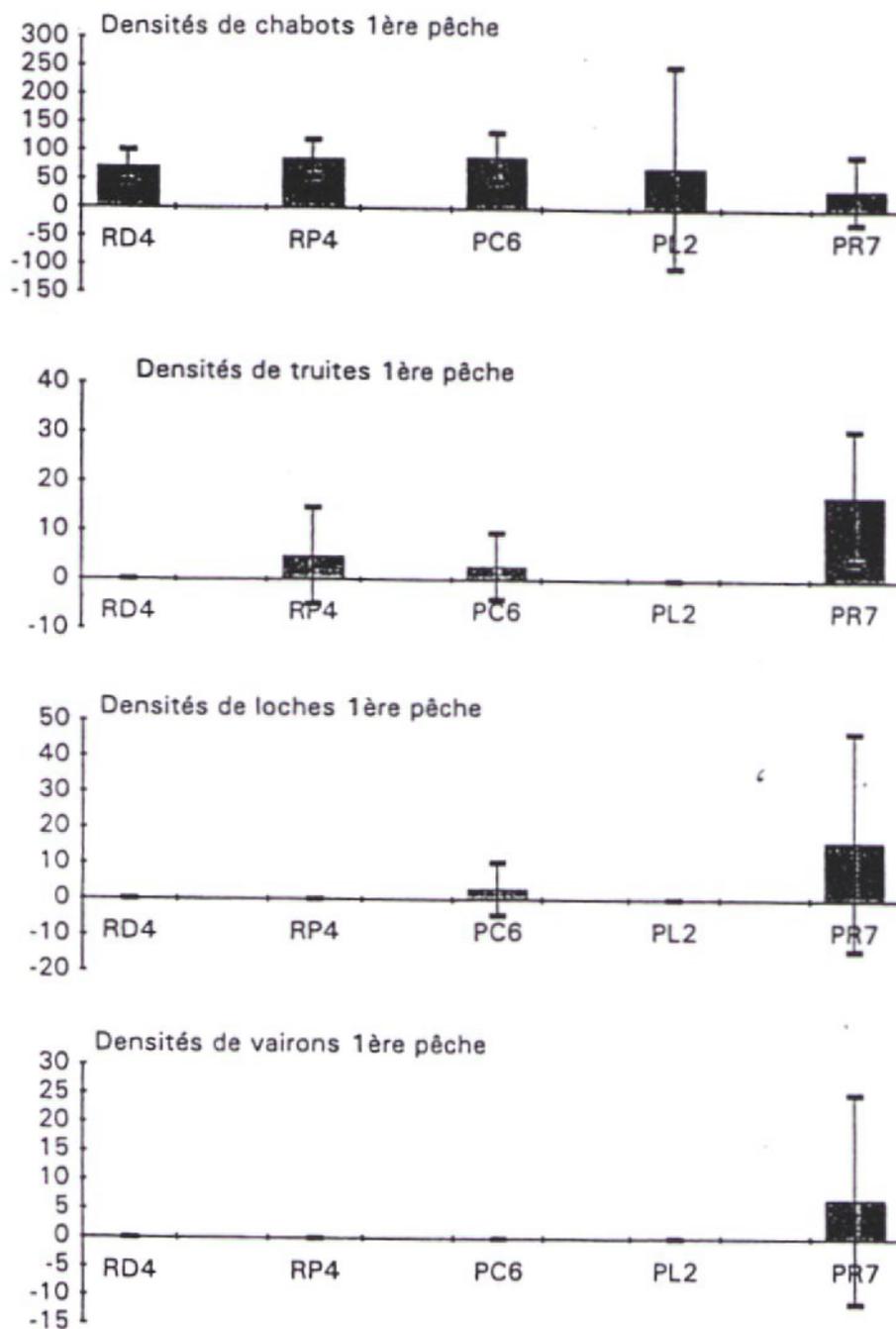


Figure 79 : Densités (profils écologiques d'abondance relative) de 4 espèces de poissons (première pêche) sur la Mayenne lors de la phase 2.

Les chiffres correspondent au nombre de faciès (RD : radier; RP : rapide; PC: plat courant; PL : plat lent; PR : profond et demi-profond), et les barres verticales à l'écart-type des valeurs.

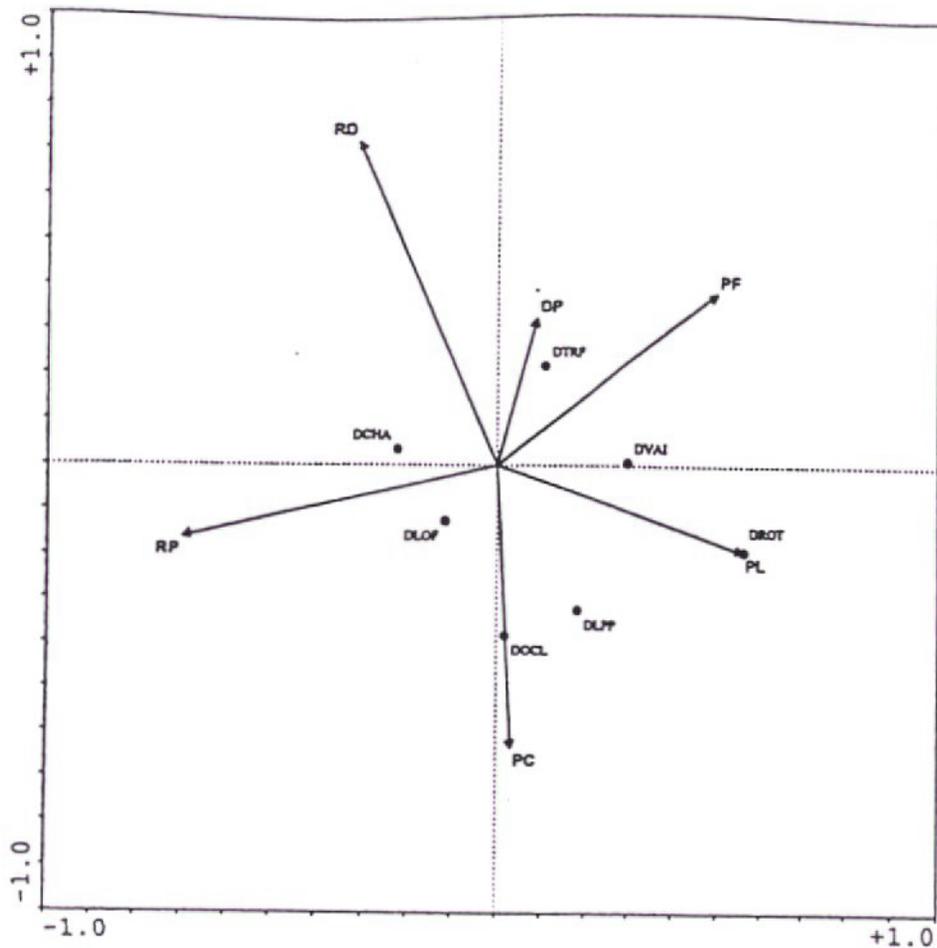


Figure 80 : Plan factoriel F1x2 de l'A.C.C. Macrophytes-type de faciès d'écoulement sur la Blandinière (phase 3).

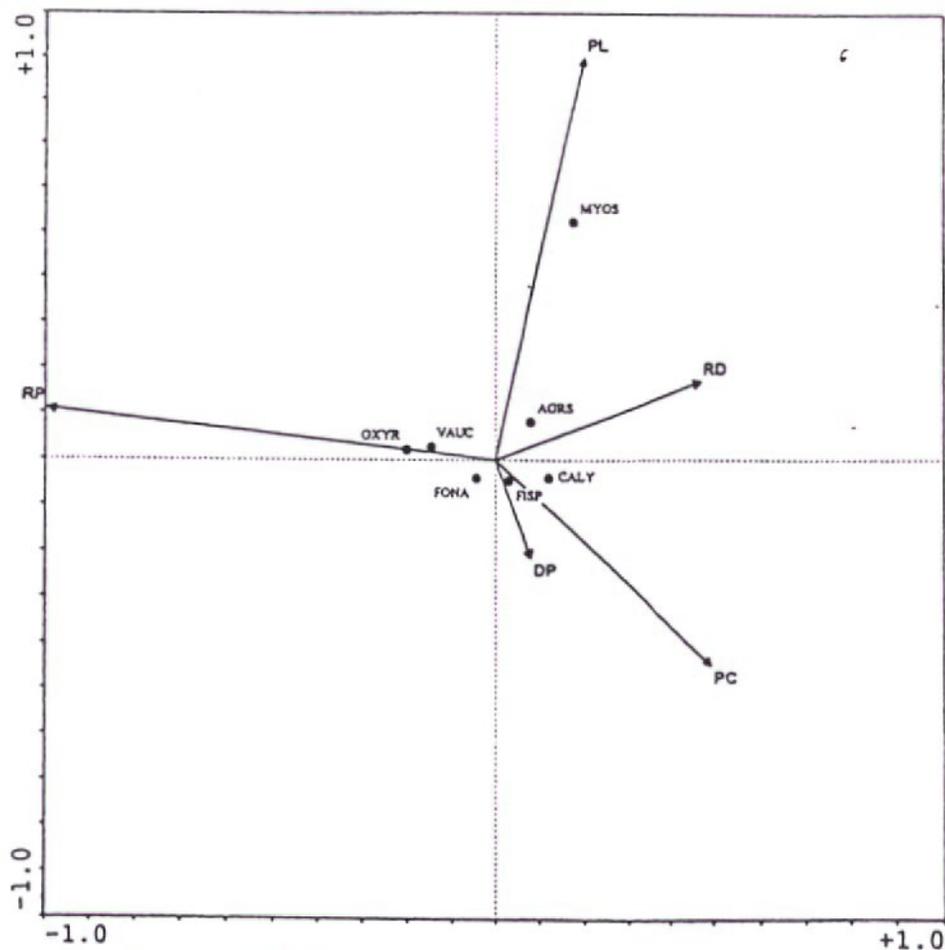


Figure 81 : Plan factoriel F1x2 de l'A.C.C. Poissons-type de faciès d'écoulement sur la Blandinière (phase 3).

Ainsi, sur la Mayenne (**Figure 79**), les densités du Chabot, Truite fario, Loche franche et Vairon font apparaître le caractère rhéophile des deux premiers, et lénitophile des deux derniers. Le profil avec deux pics de la Truite traduit la différence de répartition entre les juvéniles, présents, sinon abondants dans les rapides et plats courants et les individus plus âgés que l'on ne trouve que dans les profonds. On remarque par ailleurs la faible « habitabilité » des radiers de cette station pour la Truite.

Toutefois, au vu de la variabilité des recouvrements macrophytiques et des densités de poissons, il apparaît qu'il faudrait beaucoup plus de données pour espérer stabiliser la variance et donc établir une relation fiable entre le type de faciès et les populations qui l'utilisent. C'est peut-être à ce niveau qu'achoppent beaucoup de tentatives de modélisation.

712 - Analyse multidimensionnelle de la distribution des macrophytes et des poissons pour quelques ruisseaux lors de la phase 3

Dans cette partie, il s'agit d'analyser de façon plus statistique les relations macrophytes (ou poissons) - types de faciès d'écoulement. Pour ce faire, des Analyses Canoniques des Correspondances (A.C.C.) ont été réalisées pour la Blandinière, le Moulin Lassue, le Gué Chartier et l'Udon (2 sous-secteurs), où le nombre de faciès étudiés permet de mettre en oeuvre des outils statistiques multidimensionnels. Seuls les résultats les plus significatifs (variance expliquée par les variables biologiques de plus de 50 %) sont présentés.

Macrophytes sur la Blandinière

Le plan factoriel des relations macrophytes-faciès (19 faciès avec des macrophytes et 12 espèces prises en compte, avec 5 types de faciès) correspond à une variance expliquée par les macrophytes de 50,8 %. Du test de permutation de Monte Carlo, il ressort que le F-ratio est de 4,667, avec une probabilité d'erreur de 2 %.

L'axe 1 différencie les types de faciès rapides, avec la mousse *Platyhypnidium rusciforme* comme espèce caractéristique des rapides. L'axe 2 semble surtout expliqué par les plats lents qui s'opposent aux plats courants, avec le myosotis, *Myosotis scorpioides*, qui caractérise, dans cet échantillon, les plats lents (**Figure 80**).

Poissons sur la Blandinière

Le plan factoriel des relations poissons-faciès (22 faciès avec des poissons, 7 espèces et 6 types de faciès) correspond à une variance expliquée de 38,2 %, avec un F de 7,212 et une probabilité de 1%.

Dans ce ruisseau de faible gabarit, l'axe 1 apparaît nettement lié à l'écoulement, le second axe distinguant les plats courants des radiers. Chabot et Loche franche sont plus abondants en rapides, l'unique Rotengle caractérisant les plats lents, alors que les Ecrevisses introduites sont abondantes sur les plats courants. La position de la Truite fario près des profonds et demi-profond traduit la faible habitabilité des radiers (**Figure 81**).

Poissons sur le Gué-Chartier, le Moulin Lassue et l'Udon.

Sur le Gué Chartier, avec 18 faciès, 8 espèces et 6 types de faciès, la variance expliquée par les poissons est importante : 74,1 % (F-ratio 17,33; P = 1%).

Le plan factoriel (**Figure 82**) fait apparaître une différenciation entre les faciès profonds et demi(profonds sur l'axe 1, qui s'opposent aux faciès courants, mais aussi aux plats lents. Chevesne, Gardon et Goujon sont inféodés aux secteurs lents, mais la Truite et le Vairon qui semblent assez abondants en demi-profonds, ce qui correspondrait, comme pour la Blandinière, à une relativement faible habitabilité des secteurs courants, par ailleurs envahis de végétation. Le Chabot est inféodé aux secteurs courants.

Les poissons du Moulin Lassue (26 faciès colonisés, 8 espèces, 6 types de faciès) expliquent 45,1 % de la variance (F-ratio : 8,596, P = 1 %).

Le plan factoriel (**Figure 83**) fait très nettement ressortir l'opposition entre faciès profonds et lents et faciès courants. Chevesne, Perche, Gardon et Goujon sont inféodés aux premiers, Loche franche et Chabot aux seconds.

L'Udon possède 30 faciès avec des poissons (9 espèces, 6 types de faciès). La variance expliquée est de 30,8 % (F-ratio : 5,455, probabilité de 3%).

Le premier axe correspond à la profondeur : les espèces plutôt inféodées aux étangs et grands cours d'eau (Vandoise, Carpe commune, Perche et Goujon) se trouvent essentiellement dans les profonds et demi-profonds. Pour le second axe, le Chabot est inféodé aux radiers et surtout aux rapides (**Figure 84**).

En conclusion de cette analyse des relations faciès d'écoulement-macrophytes ou poissons pour un même ruisseau, il ressort :

- que les preferences connues sont globalement vérifiées, hormis pour la Truite,
- que la Truite montre une plasticité écologique assez importante, colonisant des faciès **relativement** plus profonds dans les plus petits cours d'eau,
- qu'il faut un minimum à la fois de longueur, de nombre de faciès et de colonisation pour pouvoir étudier les relations macrophytes-faciès ou poissons-faciès, ce qui limitera la signification statistique d'échantillons obtenus sur des stations trop courtes.

72 - Distribution des macrophytes et des poissons à l'échelle du faciès d'écoulement pour l'ensemble des stations (phase 2).

721 - Méthode des profils écologiques

7211 - En fonction de la typologie visuelle établie par un même observateur

L'approche est identique à celle réalisée par ruisseau, mais tous les faciès d'un même type sont globalisés (**Figure 85**).

Dans ces petits ruisseaux qui correspondent à la zone à Truite de l'ensemble des auteurs (VERNEAUX 1973, 1977, HUET 1951, ILLIES & BOTOSANEANU 1963, ...), on retrouve néanmoins le caractère plutôt rhéophile du Chabot, ubiquiste de la Truite, un peu plus lénitophile de la Loche et encore plus lénitophile du Vairon.

La comparaison entre densités et biomasses de la Truite fait ressortir les distributions différentes des classes d'âge : proportionnellement, les densités sont plus importantes que les biomasses sur les radiers où l'on ne trouve que des juvéniles. C'est l'inverse pour les profonds où les plus gros individus stabulent.

On s'attendait à une moindre variabilité, par rapport à l'analyse stationnelle mais ce n'est pas évident au vu de l'examen des densités et biomasses de Truite, et des densités de Chabot, Loche franche et Vairon pêchés lors de la phase 2. En effet, cette globalisation se traduit par un mélange de stations de tailles assez différentes, si bien qu'un radier de la Halouze a des profondeurs comparables à un plat lent voire un demi-profond pour les plus petits ruisseaux. Il en ressort deux pistes de recherche :

- établir une typologie quantitative des faciès, permettant de regrouper les faciès sur des données mesurées et non sur une qualification qui apparaît comme subjective,

dans ce cas, on suppose que ce sont les valeurs des facteurs (notamment la profondeur, la vitesse de courant, les pourcentages granulométriques, ...) qui sont discriminants, et l'on estime alors la « capacité d'accueil du milieu » par des « courbes de preferendum « multi-facteur » »,

- tester l'effet du ruisseau,

en considérant que chaque population utilise l'espace « au mieux » (c'est le concept d'utilisation d'un habitat potentiel).

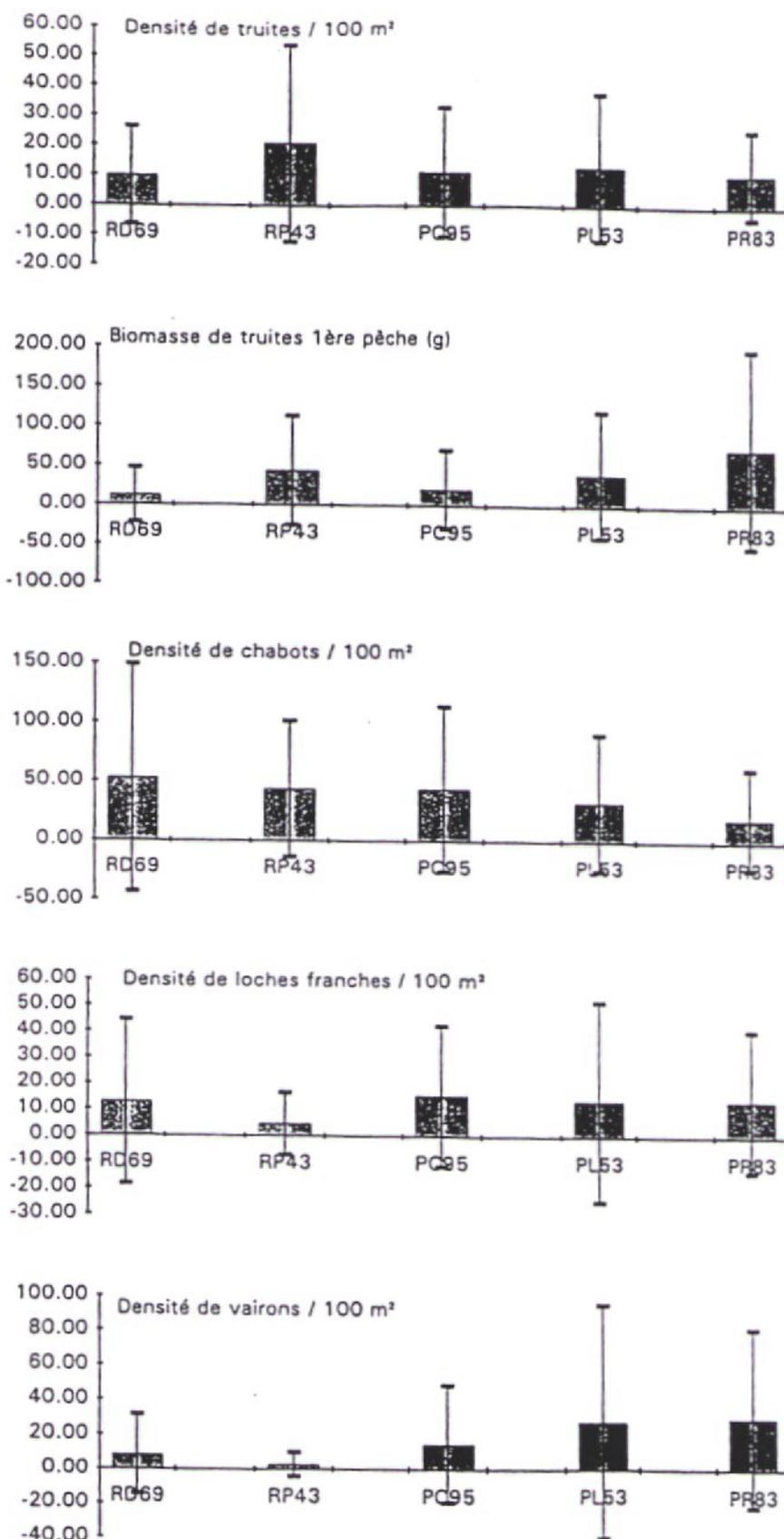


Figure 85 : Densités (profils écologiques d'abondance relative) de 4 espèces de poissons et biomasse de la Truite dans les différents faciès (typologie visuelle) des ruisseaux lors de la phase 2.

Les chiffres correspondent au nombre de faciès (RD : radier; RP : rapide; PC: plat courant; PL : plat lent; PR : profond et demi-profond), et les barres verticales à l'écart-type des valeurs.

7212 - Distribution des macrophytes et des poissons à l'échelle des faciès d'écoulement pour l'ensemble des faciès distribués en fonction d'une C.A.H.

Le travail de définition d'une typologie à partir des données mésologiques quantitatives par une Classification Ascendante Hiérarchie (CAH) a permis de définir 4 classes d'habitats, qui vérifient les typologies des radiers et des rapides, mais éclatent les demi-profonds et profonds entre les plats lents et les plats courants.

Les profils d'abondance corrigée (abondance relative dans chaque classe divisée par l'abondance moyenne dans tous les faciès) permettent de comparer l'écologie d'espèces qui ont des fréquences très différentes.

Ainsi, pour 8 macrophytes et 9 espèces de poissons (et 2 classes d'âge pour la Truite), des éléments ressortent.

Macrophytes (Figure 86)

Les résultats sur les macrophytes sont tout-à-fait cohérents avec ce que l'on connaît de l'écologie des espèces (HAURY 1996), mais précisent ces renseignements dans des milieux qui ont été encore peu étudiés par les botanistes. Par ordre de rhéophilie décroissante, on trouve :

- *Lemanea* sp. est inféodée aux faciès très courants, rapides et, dans une moindre mesure, aux radiers;
- *Oxyrrhynchium rusциforme* (= *Platyhypnidium riparioides*) est essentiellement développée en radiers et rapides sur des substrats grossiers, et en général à de faibles profondeurs;
- *Hygroamblystegium fluviatile* (= *Amblystegium f.*) a une écologie comparable, mais elle est moins fréquente;
- *Chiloscyphus polyanthus* est également rhéophile, plus développée en radiers que rapides, sur substrats très variables (pierres, racines, bases d'hélophytes, et même parfois graviers et sables grossiers);
- *Fontinalis antipyretica* apparaît comme particulièrement ubiquiste;
- *Leptodictyum riparium* (= *Amblystegium r.*) est plutôt rhéophile, mais ne supporterait pas de trop fortes vitesses de courant. Cette distribution semble un artefact dû à l'échantillon, car cette espèce est assez fréquente dans les rapides dans d'autres écosystèmes. Dans le cas de l'observatoire, les secteurs pollués sont plutôt lents, ce qui explique cette particularité de distribution;
- *Callitriche hamulata* semble avoir une écologie peu nette : en fait, cette espèce est effectivement assez rare en rapides, où elle ne peut s'ancrer. Elle peut par ailleurs se trouver en plans d'eau comme en cours d'eau;
- enfin, *Ranunculus peltatus* apparaît comme la plus lénitophile des macrophytes. Elle est effectivement présente dans les milieux où elle peut s'enraciner, et qu'elle contribue à ralentir. Toutefois cette espèce ne colonise pas des profondeurs trop importantes.

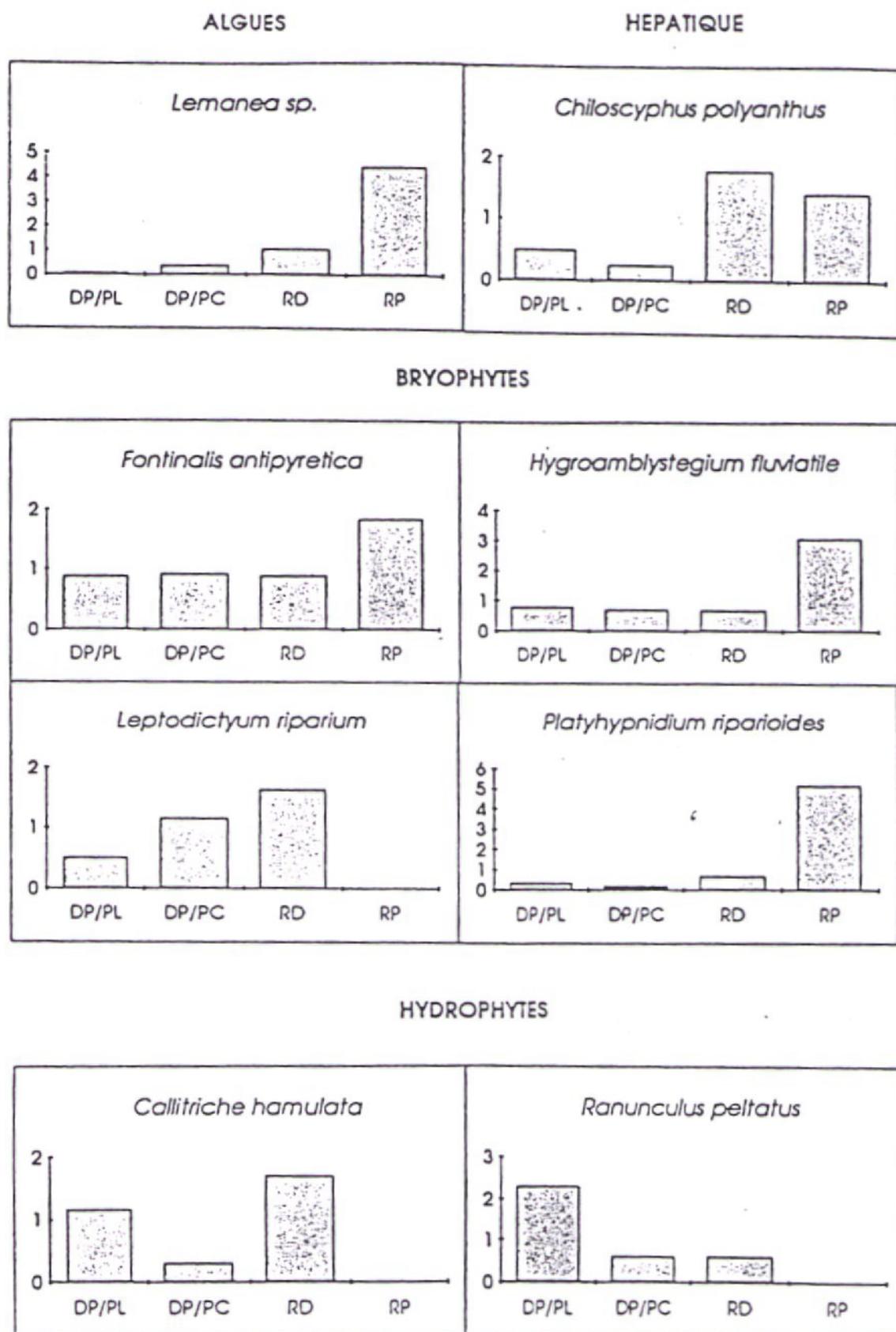


Figure 86 : Profils écologiques d'abondance corrigée de 8 espèces de macrophytes dans les 4 types de faciès (obtenus après CAH) des ruisseaux lors de la phase 2.

RD : radier; RP : rapide; PC: plat courant; PL : plat lent; DP : demi-profond..

Poissons (Figure 87)

- la Truite fario 0+ comme >0+ est présente dans tous les types de faciès. Toutefois, une sélection selon les classes d'âge est manifeste : les individus jeunes sont particulièrement abondants en radiers, et rares en plats courants et demi-profonds; les individus plus âgés sont moins abondants en radiers, et plus abondants en rapides et plats courants/demi-profonds.
- le Chabot est plutôt présent en secteurs courants.
- le Goujon est assez fréquent à la fois en secteurs rapides, mais aussi dans les plats et demi-profonds, ce qui correspond à son caractère plutôt aval dans les ruisseaux de l'Observatoire.
- la Loche franche apparaît comme nettement lénitophile, de même que le Vairon, la Lamproie de Planer.
- Le Chevesne, la Perche et le Gardon sont plutôt présents sur les plats courants et demi-profonds, mais aussi dans les rapides.

Quelle que soit l'approche retenue, les distributions spécifiques à l'échelle du faciès d'écoulement présentent de fortes variations qui restent difficilement prévisibles. Il faut alors se demander si l'analyse immédiate macrophytes ou poissons - faciès est suffisante.

Une analyse multidimensionnelle s'avère alors intéressante pour déterminer quels sont les facteurs discriminants, mais aussi si cette échelle d'étude est pertinente pour comprendre le fonctionnement des ruisseaux.

722 - Analyse globale des différents compartiments à l'échelle du faciès d'écoulement pour la phase 2.

7221 - Approche descriptive par Analyse Factorielle Multiple

Cette analyse ne concerne que les compartiments échantillonnés à cette échelle : mésologie, macrophytes et poissons. Elle est réalisée par Analyse Factorielle Multiple (AFM), qui permet d'étudier les structures communes aux compartiments pris en compte.

L'examen de l'histogramme des valeurs propres de l'analyse globale met en évidence une décroissance régulière à partir de la seconde valeur propre, ce qui tend à suggérer que, en dehors du premier axe, les variables sont assez peu corrélées entre elles. Il faut noter par ailleurs que les pourcentages d'inertie liés aux axes sont assez faibles.

Par ailleurs, l'étude des coefficients de corrélation entre les variables canoniques et les variables générales qui apparaissent dans le **Tableau XVII**, montre que les trois groupes de variables sont relativement bien représentés sur l'ensemble des cinq premiers axes. Enfin on constate, à l'examen du rapport inertie inter/ inertie totale, une assez mauvaise représentation de l'inertie intergroupes.

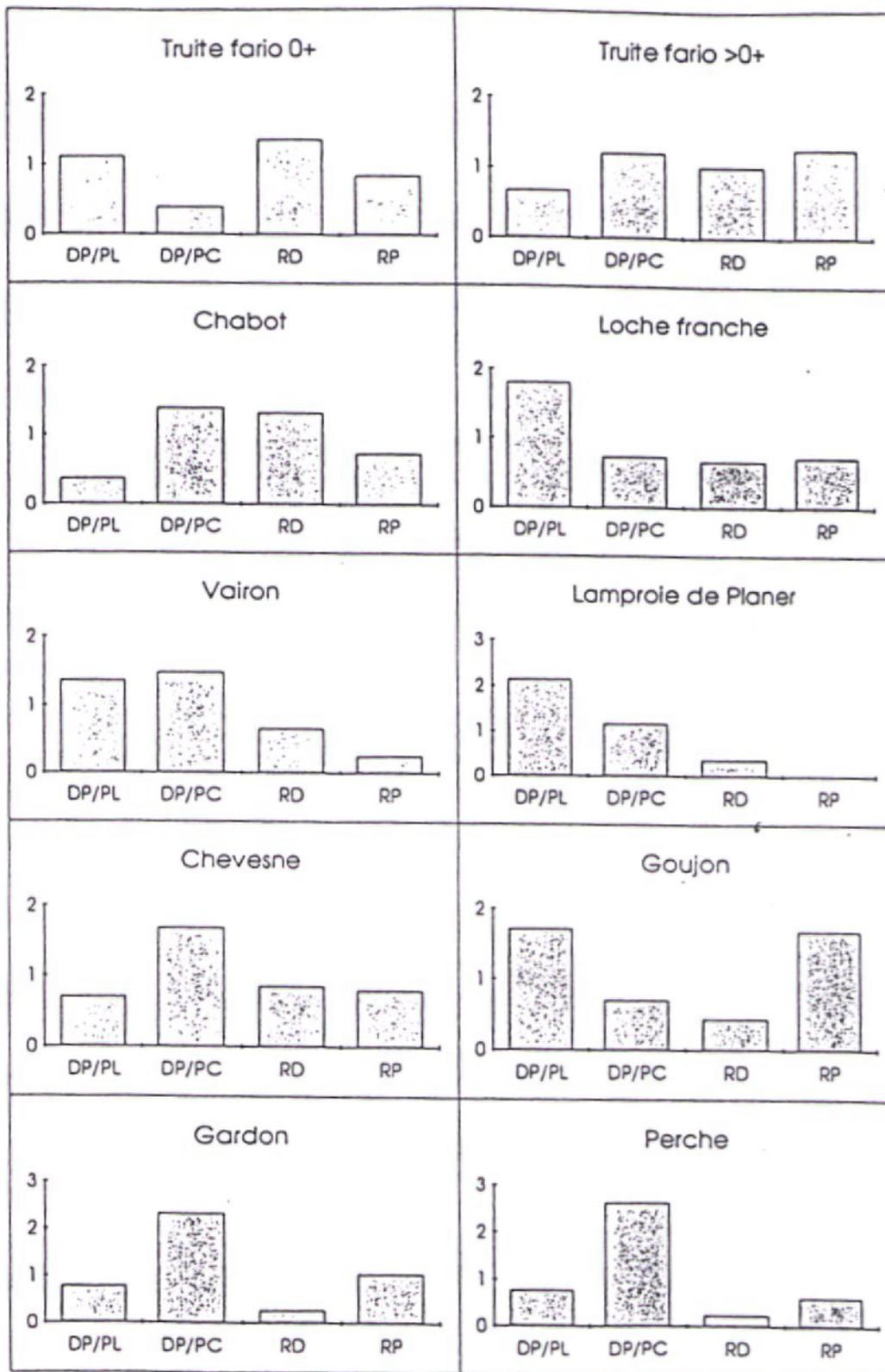


Figure 87 : Profils écologiques d'abondance corrigée de 9 espèces de poissons et de 2 classes d'âge de Truite dans les 4 types de faciès (obtenus après CAH) des ruisseaux lors de la phase 2.

RD : radier; RP : rapide; PC: plat courant; PL : plat lent; DP : demi-profond..

Tableau XVII : Corrélations entre variables canoniques et variables générales de l'AFM et rapport Inertie inter/ Inertie totale.

| | Facteur 1 | Facteur 2 | Facteur 3 | Facteur 4 | Facteur 5 |
|-------------------------------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Gr1 : Mésologie | 0.82 | 0.67 | 0.49 | 0.65 | 0.50 |
| Gr2 : Macrophytes | 0.76 | 0.70 | 0.83 | 0.70 | 0.76 |
| Gr3 : Poissons | 0.61 | 0.72 | 0.57 | 0.53 | 0.72 |
| Inertie inter/ Inertie totale | 0.54 | 0.47 | 0.40 | 0.39 | 0.45 |

Nous nous limiterons donc à l'étude du premier plan factoriel (**Figure 88**)

Pour la **mésologie**, on note une opposition sur l'axe 1, entre un écoulement de type lisse associé à une granulométrie fine (sables, argiles-limons), à la profondeur et au colmatage, et un écoulement de type turbulent ou friselis, associé à une vitesse de courant élevée et une granulométrie grossière (blocs et galets). L'axe 2 apparaît plus composite, mais marque principalement l'opposition entre l'éclairement et le taux de boisement et est également caractérisé par une granulométrie "moyenne"

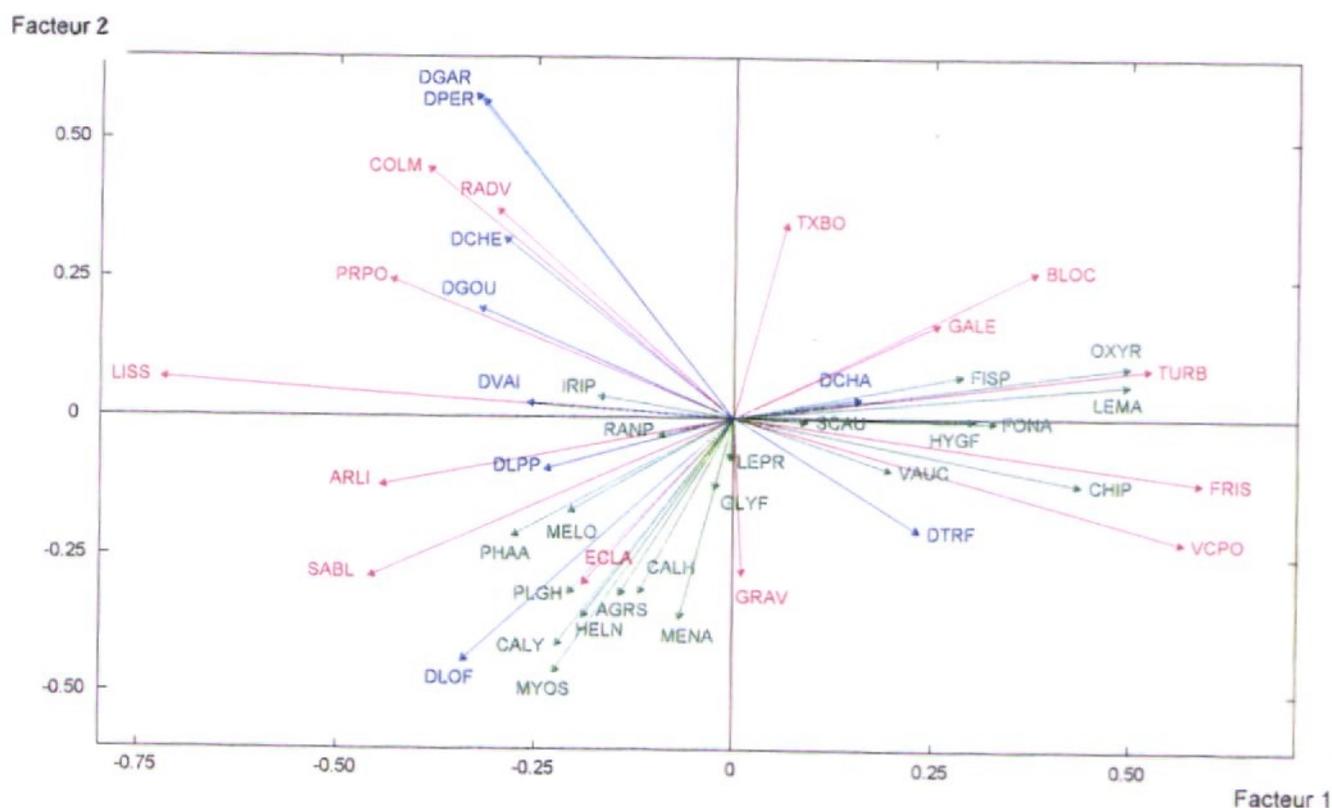


Figure 88 : Plan factoriel F1xF2 des variables de l'A.F.M. par faciès d'écoulement.
En rouge, la mésologie; en vert, les macrophytes; en bleu, les poissons.

La répartition des **macrophytes** sur ce plan factoriel, se fait essentiellement selon deux directions principales. L'axe 1 met en évidence les espèces présentant une grande affinité pour les milieux courants à écoulement turbulent telles que les algues *Lemanea sp* et *Vaucheria sp*, l'hépatique *Chiloscyphus polyanthus* et les mousses *Oxyrrhynchium rusciforme*, *Fontinalis antipyretica*, *Fissidens pusillus* et *Hygroamblystegium fluviatile*. Les autres espèces de macrophytes présentent plutôt une affinité pour les faciès plus lenticques, mais s'orientent principalement selon l'axe 2 vers les milieux les mieux éclairés. Ces espèces sont principalement des héliophytes, *Myosotis scorpioides*, *Helosciadium nodiflorum*, *Agrostis stolonifera*, *Mentha aquatica*, *Polygonum hydropiper*, *Phalaris arundinacea*, mais aussi les hydrophytes *Callitriche hamulata* et *Callitriche platycarpa* ainsi que l'algue *Melosira sp*.

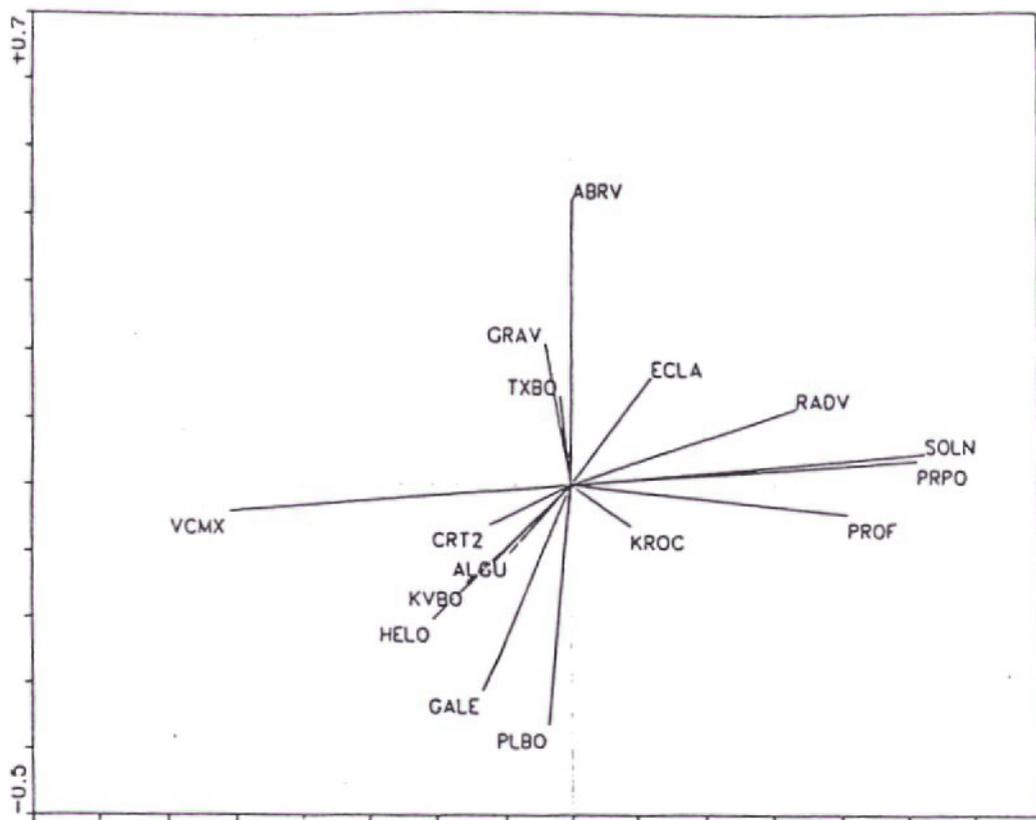
Pour les **poissons**, on note une opposition entre le Chabot et la Truite plutôt orientés vers les milieux à écoulement rapide et toutes les autres espèces que l'on retrouve dans des milieux à écoulement plus lent. Du fait de leur mobilité potentielle, la mise en évidence de relations entre poissons et milieu physique est relativement hasardeuse. D'autre part, les espèces atypiques en provenance d'étangs telles le Gardon ou la Perche, ou remontant de secteurs plus aval comme le Goujon ou le Chevesne se retrouvent dans les secteurs profonds et d'écoulement lent, qui correspondent aux conditions les plus proches de leur habitat traditionnel. Parmi les espèces caractéristiques, le Vairon semble présenter une affinité pour les milieux calmes (déjà décrit par NEVEU 1981), de même que la Lamproie de Planer qui, d'autre part, est inféodée aux substrats constitués d'argile et limons, ce que l'on peut mettre en relation avec son régime alimentaire de type filtreur. Enfin, la Loche franche semble liée aux peuplements de macrophytes et d'héliophytes en particulier.

Cette AFM par faciès d'écoulement permet de mettre en évidence la structuration des peuplements de poissons et de macrophytes en fonction des variables du milieu. L'écologie des macrophytes semble mieux précisée à cette échelle d'étude que celle des poissons. Par ailleurs, les macrophytes semblent mieux caractériser les faciès courants, alors que les poissons semblent mieux caractériser les faciès lents. En conclusion, il y a une complémentarité entre les deux compartiments biotiques pour expliquer la mésologie.

7222 - Approche explicative. Recours à l'ACC

Jusqu'à présent, les méthodes utilisées, ACP et AFM sont des méthodes essentiellement descriptives et il n'existe pas de moyen de tester la validité statistique des relations mises ainsi en évidence, à la différence d'une analyse "explicative" telle l'Analyse Canonique des Correspondances. L'ACC permet, d'autre part, de juger de l'effet ruisseau et de voir dans quelle mesure les différents types de faciès d'écoulement, issus de la classification visuelle, possèdent des peuplements de macrophytes et de poissons spécifiques

a



b

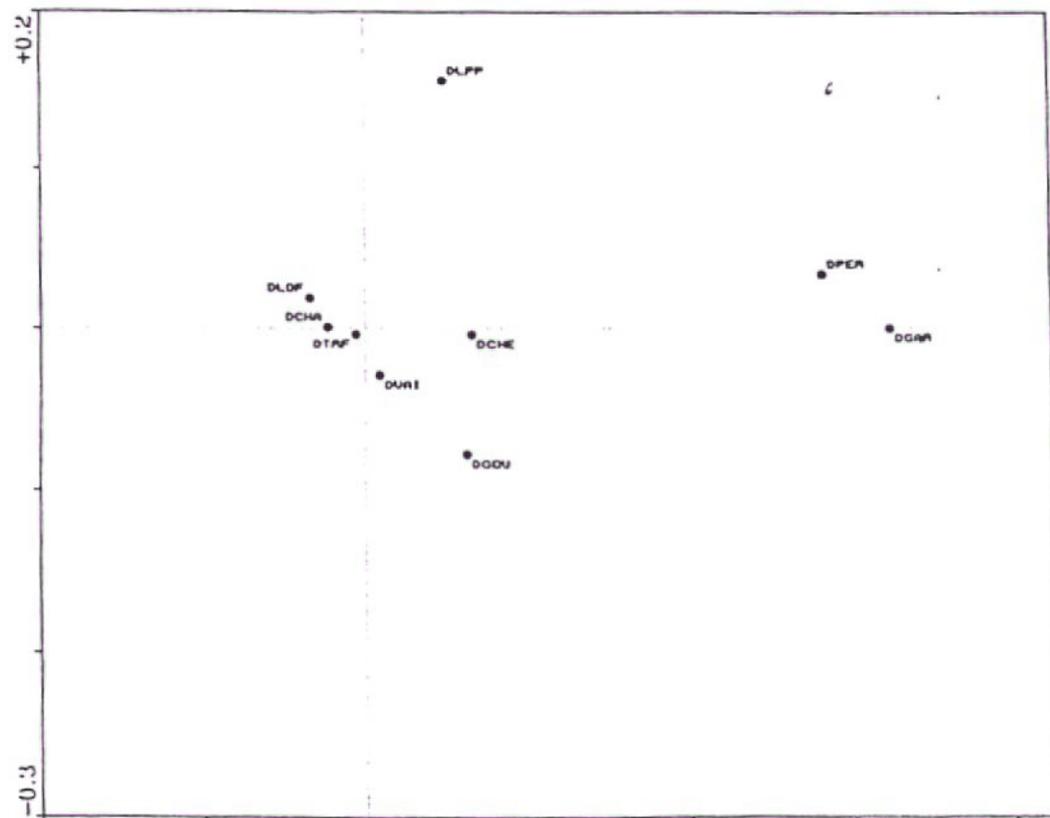


Figure 89 : Plans factoriels F1xF2 de l'ACC poissons-mésologie à l'échelle du faciès d'écoulement. a: variables explicatives; b : espèces (variables actives)

Exemple de l'étude du peuplement de poissons

Relation poisson-variables mésologiques

Le but de cette analyse est de tenter d'expliquer la répartition des poissons sur l'ensemble des cours d'eau de l'Observatoire par les variables mésologiques les plus pertinentes. La procédure suivie est une Forward Selection avec sélection pas à pas des variables, avec les ruisseaux en covariables (TER BRAAK, 1986).

L'analyse porte sur les 327 faciès ayant un effectif non nul de poissons; 9 espèces sont prises en compte, et 32 variables environnementales sont utilisées. La variance expliquée est 0.36.

Par la sélection pas-à-pas de 16 variables (seuil de sélection 0,04, F-ratio de 2,49 : profondeur, variance de cette profondeur, variation de la vitesse maximum, éclaircissement, caches des rochers, caches e la végétation ripicole, sol nu, algues, hélrophytes, plantes bordurières, taux de boisement, racines et débris végétaux, graviers, galets, abreuvoirs et courants en retour), la variance expliquée est de 0,305. Comme la variance totale est de 1,263, le pourcentage de variance expliquée par les variables sélectionnées est de 24,15 %. (F-ratio 2,49, P-value 0;04)

Les variables environnementales retenues permettent d'expliquer un peu plus de 24 % de la répartition des poissons. L'axe 1 (**Figure 89a**) oppose essentiellement les milieux profonds peu végétalisés aux milieux caractérisés par une vitesse d'écoulement élevée. L'axe 2 lui, est caractérisé par la présence d'abreuvoirs par opposition à l'importance de la végétation des berges. Il oppose également dans une certaine mesure une granulométrie moyenne (graviers) à une granulométrie plus grossière (galets). Le plan factoriel des espèces (**Figure 89b**) met en évidence l'affinité des perches, des gardons et dans une moindre mesure des chevesnes, pour les milieux profonds et de courants lents. En revanche, les loches, les chabots et surtout les truites semblent indifférentes aux variables mésologiques sélectionnées. L'axe 2 permet de mettre en relation les lamproies de Planer et la présence d'abreuvoirs. Plus étonnante est la relation qui semble se dessiner entre les goujons, généralement inféodés aux fonds de sables ou de graviers, et la disponibilité en caches sous roches.

Cette analyse permet de confirmer certaines relations mises en évidence par l'AFM par faciès d'écoulement :

- les perches, les gardons et, dans une moindre mesure, les chevesnes se retrouvent principalement dans les milieux profonds.
- les lamproies de Planer sont liées à la présence d'abreuvoirs. Cette relation n'est pas surprenante dans la mesure où le piétinement des troupeaux dans les abreuvoirs creusés dans les berges, voire la pénétration des animaux dans les cours d'eau sont en grande partie responsables du colmatage par les limons, substrat de prédilection des lamproies.

En revanche, les truites et chabots, généralement liés au ruisseaux courants, sont indifférents à la variable vitesse d'écoulement.

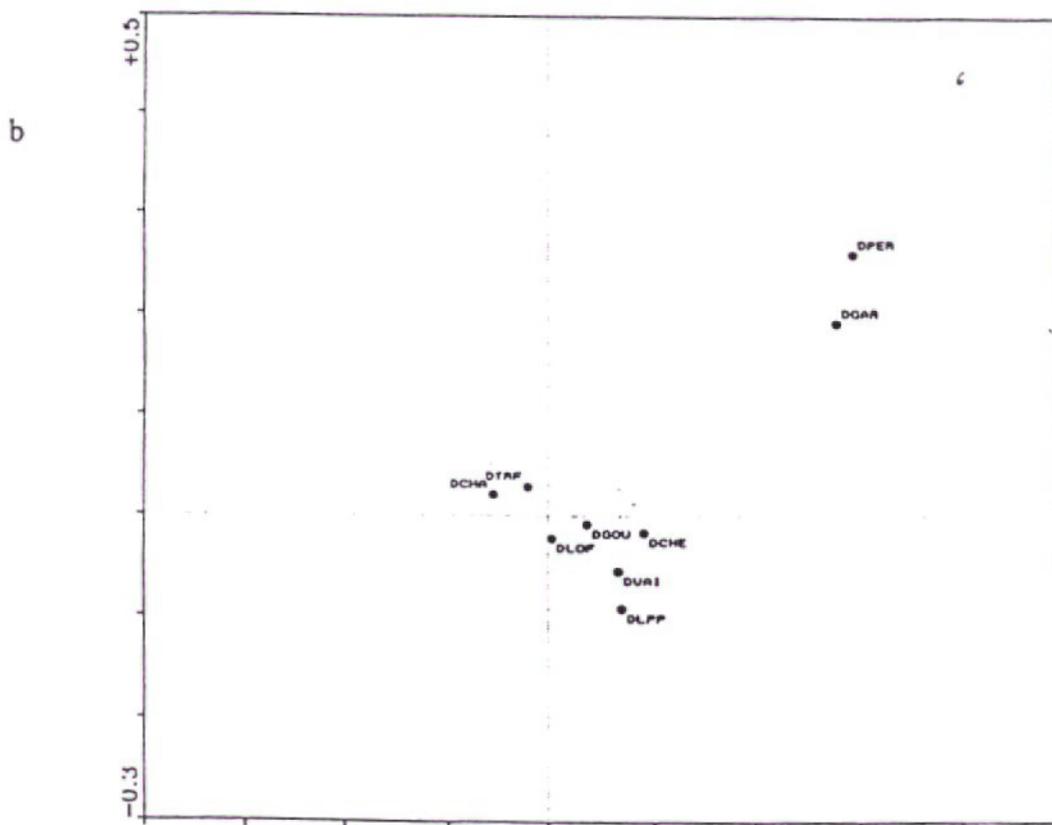
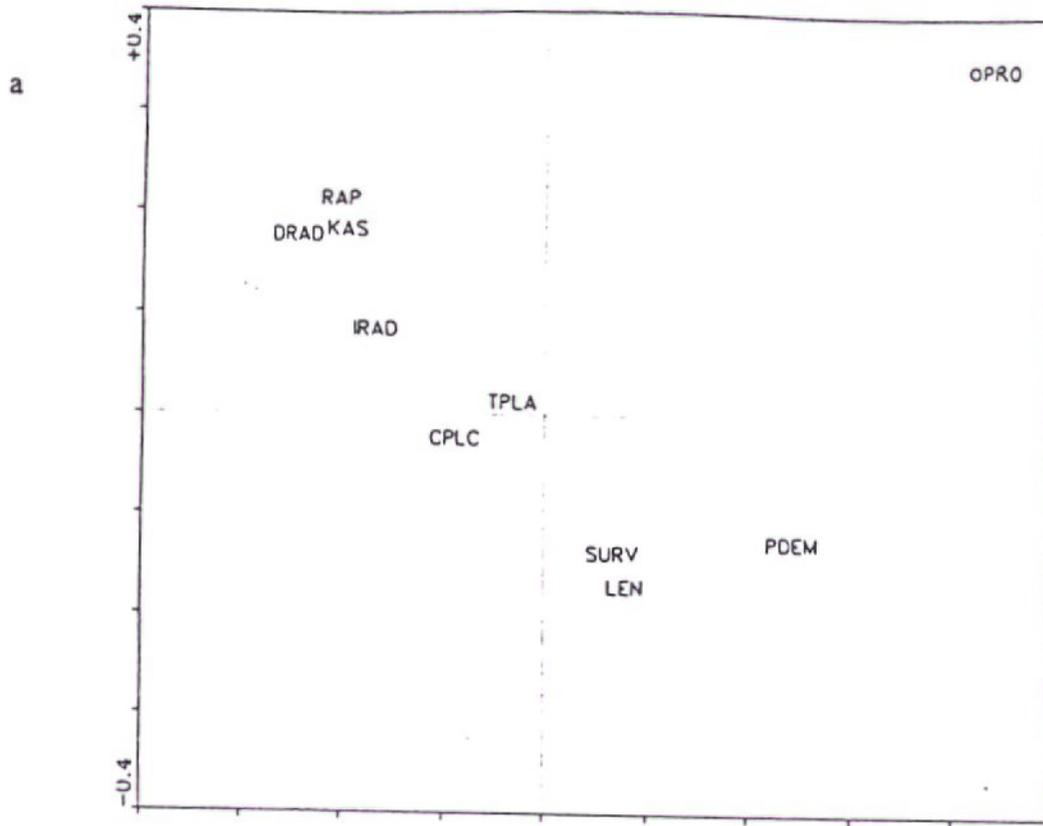


Figure 90 : Plans factoriels F1xF2 de l'ACC poissons-types de faciès à l'échelle du faciès d'écoulement. a : variables explicatives; b : espèces (variables actives)

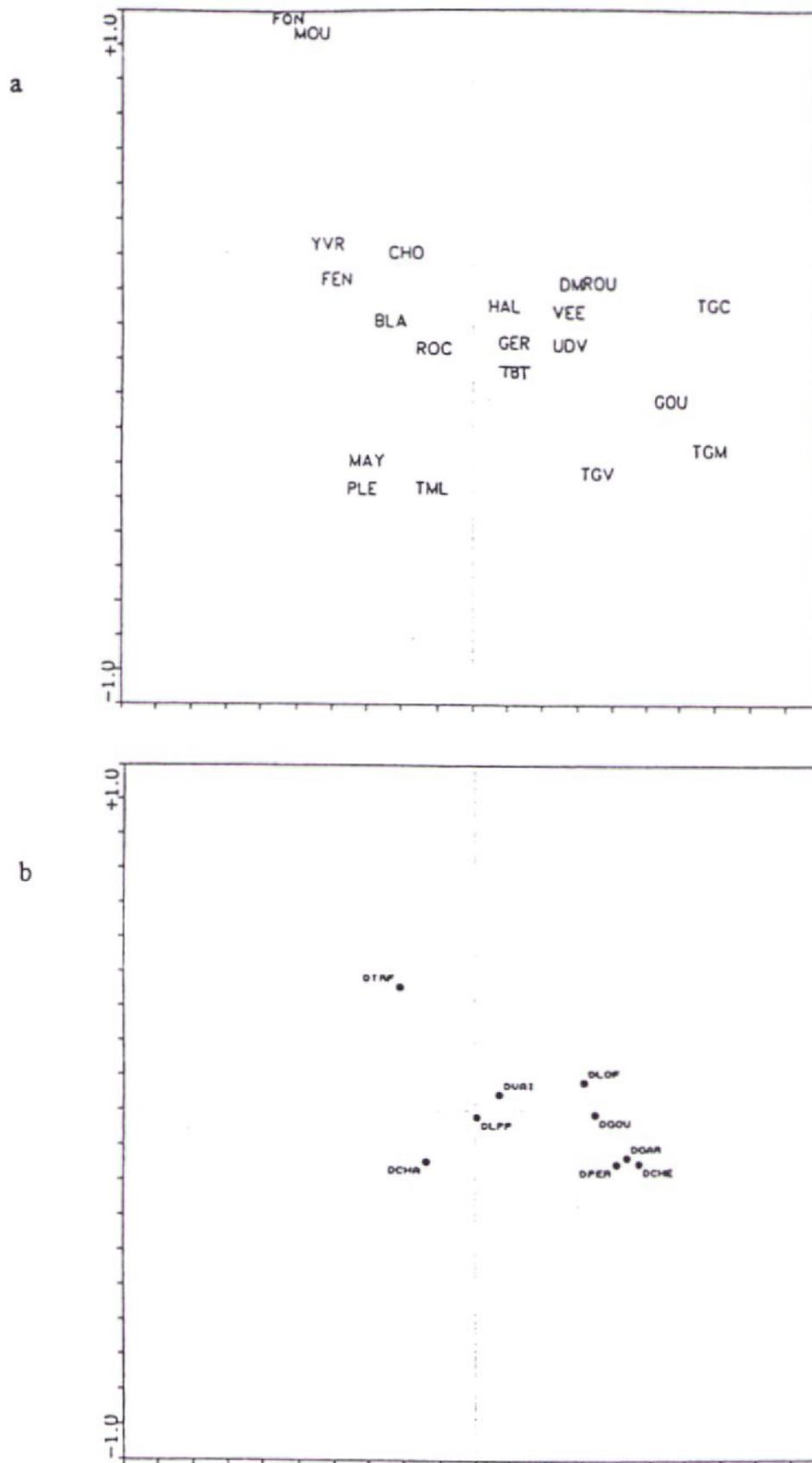


Figure 91 : Plans factoriels F1xF2 de l'ACC poissons-mésologie à l'échelle du faciès d'écoulement. a: variables explicatives; b : espèces (variables actives)

relation poisson-faciès

Le but de cette analyse est de voir dans quelle mesure les différents types de faciès d'écoulement permettent d'expliquer la répartition des poissons sur l'ensemble des cours d'eau de l'Observatoire. De façon à tenir compte de l'"effet ruisseau" les cours d'eau sont portés en covariables. Ce sont toujours 327 faciès et 9 espèces qui sont analysés.

Les différents types de faciès sont ceux issus de la classification visuelle :

Radier (IRAD), Cascade (KAS), Plat lent (LEN), Profond (OPRO), Demi profond (PDEM), Rapide (RAP), Demi profond par surverse (SURV), Plat (TPLA), Demi radier (DRAD), Plat courant (CPLC)

La variance expliquée par les variables est de 0.165, pour une variance totale de 1.263 : le pourcentage de variance expliquée par les variables est de 13.06 %. (F-ratio : 4,97, P-value : 0,01).

Les types de faciès d'écoulement, tels que définis par la classification visuelle, ne permettent d'expliquer qu'un peu plus de 13 % de la variabilité observée dans la répartition des poissons. Le plan factoriel des variables (**Figure 90b**) met en évidence une diagonale sur laquelle s'opposent les faciès à écoulement rapide et turbulent (rapides, cascades, demi-radiers et radiers) aux faciès moyennement profonds et lents (demi-profonds, demi-profonds par surverse et plats lents) et surtout la particularité des faciès profonds. Ceux-ci constituent l'habitat privilégié des perches et des gardons (**Figure 90a**), ce qui confirme les résultats de l'analyse précédente, à la différence des chevesnes. Enfin, les lamproies de Planer semblent inféodées aux faciès lents, ce qui va dans le sens des résultats de l'AFM par faciès d'écoulement.

relation poisson-ruisseaux

Le but de cette analyse est de voir dans quelle mesure l'appartenance à tel ou tel ruisseau permet d'expliquer la répartition des poissons sur l'ensemble des cours d'eau de l'Observatoire.

La variance expliquée par les variables ruisseau est de 1.457, pour une variance totale de 2,72 : le pourcentage de variance expliquée par les variables est donc de 53.56 % (F-ratio 17,66, P-value 0,01).

Les variables "ruisseaux" expliquent près de 54 % de la répartition des poissons de l'Observatoire. L'examen conjoint des plans factoriels des variables (ruisseaux) (**Figure 91a**) et des espèces (**Figure 91b**) met en évidence une opposition entre les cours d'eau à truites (Fontaine au Héron, Mousse, Yvrandes, Fendrie, Choisel, Blandinière) et/ou à chabots (Mayenne, Plesse, Tilleul au Moulin Lassue) et les cours d'eau à chevesnes, gardons, perches ou goujons (Gourbe, Tilleul au Grand Etinoux et au Gué Chartier). La Fontaine au Héron et la Mousse se signalent par un peuplement piscicole presque exclusivement constitué de truites. Enfin il est à noter que les lamproies de Planer se montrent indifférentes vis à vis de la variable ruisseau.

Etude du peuplement de macrophytes

Le même type d'analyse a été réalisé pour les macrophytes. Les plans factoriels seront seulement commentés.

- relation macrophytes-variables mésologiques

Le but de cette analyse est de tenter d'expliquer la répartition des macrophytes sur l'ensemble des cours d'eau de l'Observatoire par les variables mésologiques les plus pertinentes. La procédure suivie est une Forward Selection avec sélection pas à pas des variables, avec les ruisseaux en covariables.

Le nombre de faciès avec des macrophytes est plus restreint : 275. Le nombre d'espèces prises en compte est de 20, et celui des variables environnementales de 20 également.

La variance expliquée par toutes les variables est de 0,49. Par sélection pas à pas, seulement 6 variables sont retenues (au seuil de 5 % : la longueur, l'éclairement, les écoulements lisses, les argiles et limons, les blocs et les cascades), qui expliquent 0,273, soit 8,31 % de la variance totale (3,284). (F-ratio 3,77, P-value: 0,01)

Les variables environnementales sélectionnées n'expliquent que 8,31 % de la variabilité observée dans la distribution des macrophytes. Seuls trois taxons semblent montrer une affinité marquée pour certaines variables mésologiques : *Fissidens pusillus* pour les cascades, *Iris pseudacorus* pour les longs faciès à granulométrie fine (argiles et limons), *Melosira sp* pour les faciès bien éclairés.

relation macrophytes-faciès

Le but de cette analyse est de voir dans quelle mesure les différents types de faciès d'écoulement permettent d'expliquer la répartition des macrophytes sur l'ensemble des cours d'eau de l'Observatoire. De façon à tenir compte de l'"effet ruisseau" les ruisseaux sont portés en covariables.

Pour les 275 faciès et 20 espèces, en considérant les différents types de faciès issus de la classification visuelle, la variance expliquée par les variables est de 0.172, pour une variance totale de 3.284. Le pourcentage de variance expliquée par les variables est de 5.24 %. Le F-ratio : 1.51 et la P-value : 0.07 (non significatif) amènent à conclure que les différents types de faciès ne permettent pas d'expliquer de façon significative, la répartition observée des macrophytes.

relation macrophytes-ruisseaux

Le but de cette analyse est de voir dans quelle mesure l'appartenance à tel ou tel ruisseau permet d'expliquer la répartition des macrophytes sur l'ensemble des cours d'eau de l'Observatoire.

La variance expliquée par les variables « ruisseau » est de 3.521, pour une variance totale de 6.804. Le pourcentage de variance expliquée par les variables est de 51.75. (F-ratio : 13.69, P-value : 0.01)

La variable ruisseau permet d'expliquer près de 52 % de la répartition des macrophytes. Un cours d'eau se singularise : la Mousse caractérisée par l'hépatique *Scapania undulata* indicatrice d'oligotrophie. Les autres cours d'eau se répartissent en deux groupes, lesquels correspondent à deux ensembles de macrophytes. Le premier ensemble, situé sur la partie positive de l'axe 2, se compose d'hélophytes, à l'exception de l'algue *Melosira sp* et de la bryophyte *Leptodictyum riparium*. Le deuxième groupe de macrophytes est constitué

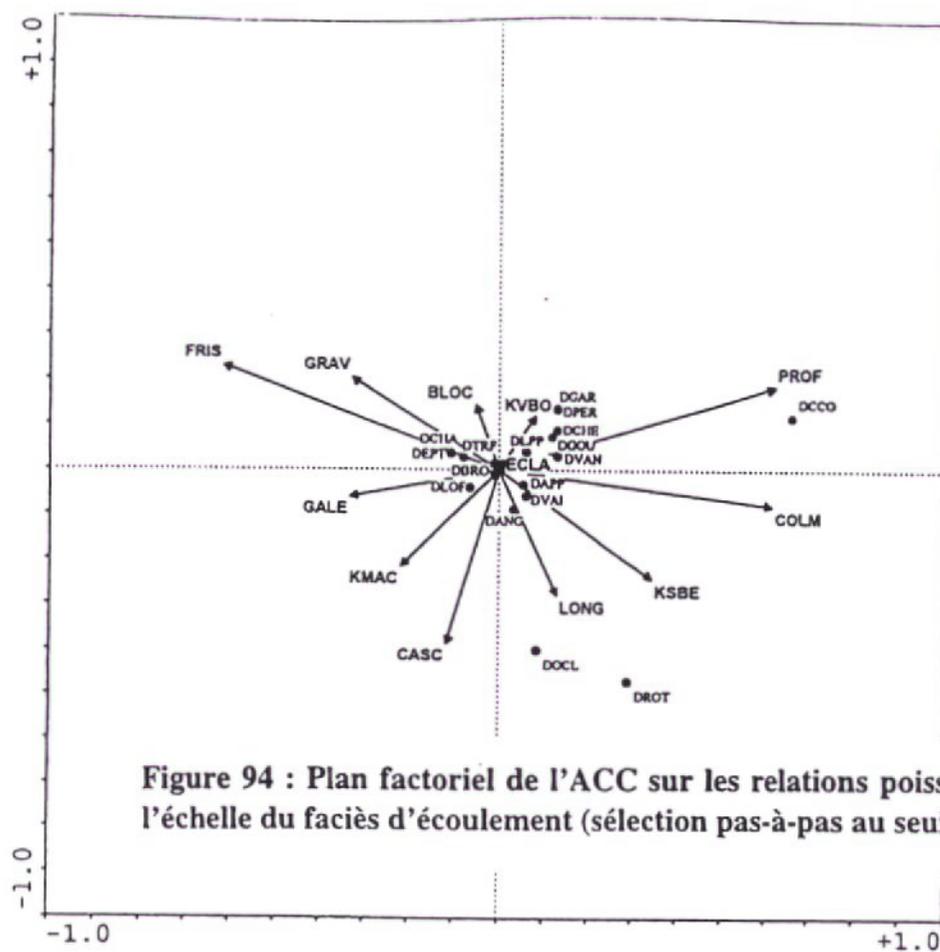


Figure 94 : Plan factoriel de l'ACC sur les relations poissons-variables météorologiques à l'échelle du faciès d'écoulement (sélection pas-à-pas au seuil 5 %) - Phase 3.

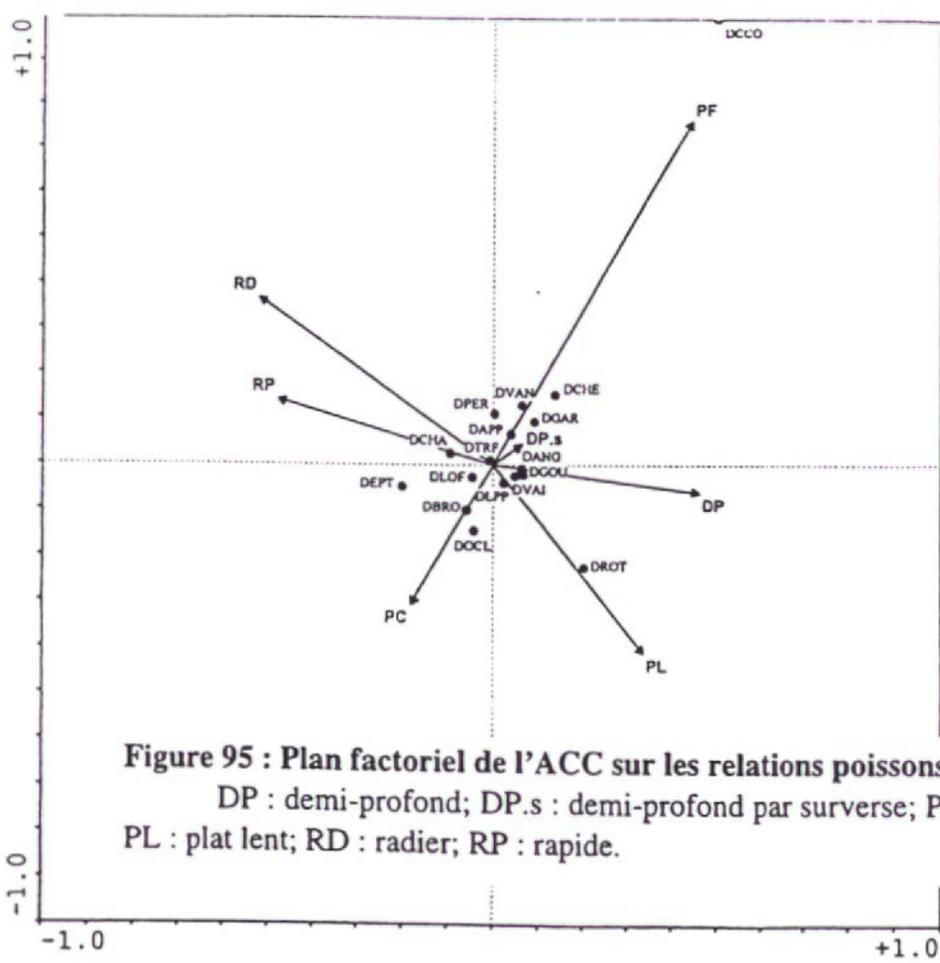


Figure 95 : Plan factoriel de l'ACC sur les relations poissons-type de faciès - Phase 3.
 DP : demi-profond; DP.s : demi-profond par surverse; PC : plat courant; PF : profond;
 PL : plat lent; RD : radier; RP : rapide.

principalement de bryophytes et d'algues, la seule héliophyte présente étant *Glyceria fluitans*. Il semble que cette partition se fasse en fonction du caractère plus ou moins bien éclairé des cours d'eau. Les ruisseaux du premier groupe (partie positive de l'axe 2) bénéficient en effet en moyenne d'une plus grande luminosité, même si la différence ne devient significative (test t; $P < 0,05$) que si l'on retire le ruisseau de la Fendrie du deuxième groupe. L'éclairement général de ce cours d'eau, dont toute la partie amont est très ombragée, semble en effet avoir été largement surévalué. Le caractère héliophile des espèces du premier groupe, principalement des héliophytes, apparaît dans l'AFM réalisée à l'échelle du faciès d'écoulement. Par ailleurs, l'ACC précédente met en évidence la corrélation positive entre l'éclairement et *Melosira sp.* Enfin *L. riparium* est reconnue comme étant indifférente à ce paramètre. Les espèces du deuxième groupe apparaissent plutôt sciaphiles au regard de l'AFM par faciès d'écoulement, caractéristique reconnue par ailleurs pour deux d'entre elles, *Chiloscyphus polyanthos* et *Oxyrrhynchium rusciforme*.

Cette hypothèse explicative de la répartition des macrophytes dans les deux groupes de ruisseaux semble infirmée au regard de l'ACC macrophytes-mésologie, car si la variable éclairement (ecla) est principalement constitutive de l'axe 1, elle ne semble guère influencer sur la répartition des macrophytes.

73 - Analyse par Analyses Canoniques des Correspondances des macrophytes et des poissons à l'échelle du faciès d'écoulement pour la phase 3.

Les questions traitées par ces analyses concernant la phase 3 sont les mêmes que pour la phase 2, avec laquelle les résultats sont comparés :

- comment se répartissent les macrophytes et les poissons en fonction respectivement des caractéristiques mésologiques, des types de faciès et des ruisseaux ?
- quel est l'effet ruisseau par rapport à l'effet faciès ?
- quelles sont les différences par rapport à la phase 2 ?

Les 6 types de traitement précédemment mis en oeuvre pour la phase 2 ont été appliqués aux résultats de la phase 3.

731 - Etude du peuplement pisciaire à l'échelle du faciès d'écoulement

Les relations poissons-variables mésologiques (Figure 94) avec une sélection pas-à-pas correspondent à une variance totale de 1,135, la variance expliquée par les variables environnementales retenues étant seulement de 0,213, soit 18,85 % (24,15 % en 1994).

Les variables mésologiques retenues sont, par ordre d'importance : la longueur du faciès, sa profondeur, l'éclairement, l'écoulement en friselis, les pourcentages de caches en sous-berge, dues à la végétation des berges, aux macrophytes, les graviers, galets, blocs, le colmatage et le nombre de cascades dans le faciès. Le plan factoriel fait ressortir les caractéristiques d'écoulement sur l'axe 1, la Carpe commune étant inféodée aux profonds, la Truite et le Chabot étant plutôt caractéristiques des friselis. La position du Rotengle (1 individu) et de l'Ecrevisse américaine (2) dans le plan factoriel n'est pas interprétable.

On peut noter l'affinité du Gardon et de la Perche pour les caches dues à la végétation ripicole, celle de l'Ecrevisse à pattes blanches et du Vairon pour les caches sous-berge et de la Loche franche pour les caches sous macrophytes.

Les relations poissons-types de faciès (Figure 95) correspondent à une variance totale de 1,135, les types de faciès n'expliquant que 0,128, soit 11,28 % (contre 13,06 % en 1994). Le plan factoriel oppose sur l'axe 1 les secteurs lents aux secteurs courants, et différencie les habitats les plus typés par rapport au plats. On y retrouve l'inféodation de la Carpe commune, mais aussi du Chevesne, du Gardon, de la Vandoise aux secteurs profonds; le Goujon et le Vairon semblent plus abondants dans les demi-profonds. Le Chabot présente un caractère rhéophile et la Loche franche est inféodée aux plats lents où l'on a trouvé l'unique Rotengle.

Les relations poissons-ruisseaux (Figure 96) correspondent à une variance totale de 2,621, la variance expliquée par l'appartenance à tel ou tel ruisseau étant de 1,486, soit 56,6% (53,56 % en 1994). Le plan factoriel fait bien ressortir sur le premier axe l'opposition entre, d'une part, les secteurs eutrophisés du Grand Etinoux, voire de la Gourbe, caractérisés par le Chevesne, la Perche, le Goujon et le Gardon, et, d'autre part, les ruisseaux riches en Truite avec un premier groupe constitué de la Fontaine au Héron et de la Mayenne, et un second comprenant la Fendrie, l'Yvrande et la Mousse. Entre ces secteurs extrêmes, tous les autres ruisseaux sont caractérisés par des espèces particulières dont certaines sont peu représentées : Carpe commune (Udon aval), Ecrevisse américaine, Vandoise, Brochet (Gérard), Epinochette, Rotengle (Blandinière).

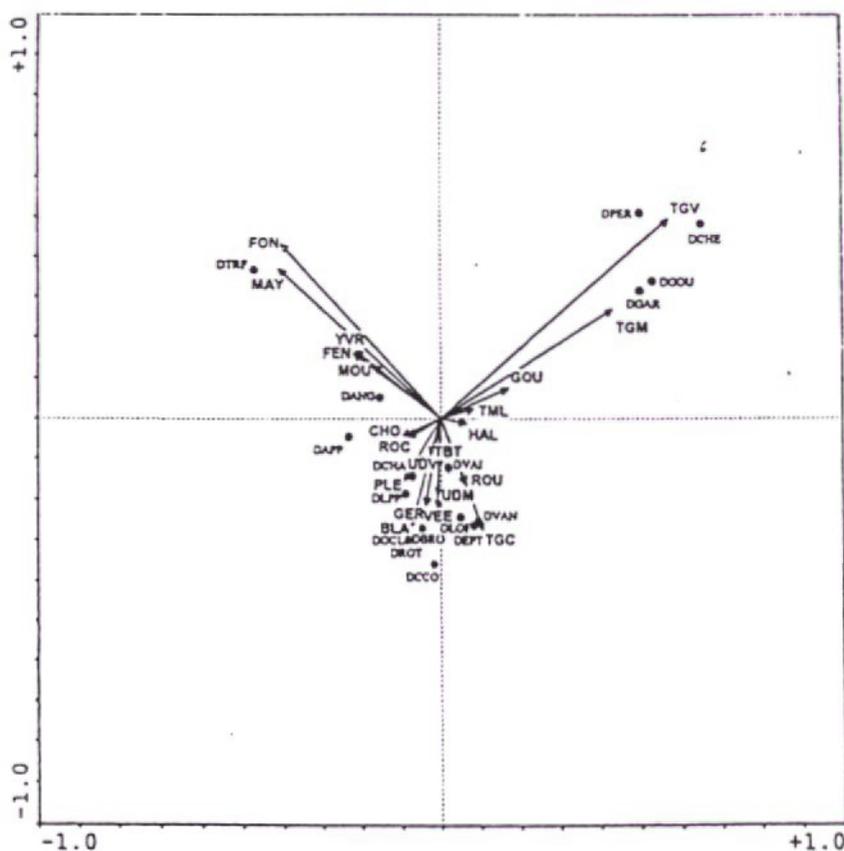


Figure 96 : Plan factoriel de l'ACC sur les relations poissons-ruisseau - Phase 3.

732 - Etude du peuplement macrophytique à l'échelle du faciès d'écoulement

Les relations macrophytes-ruisseaux (Figure 97) ont été traitées en deux étapes. Pour l'ensemble des ruisseaux et des macrophytes (21 espèces présentes sur 271 faciès), la variance totale est de 8,712, pour une variance expliquée de 4,626, soit 53,1 % (51,75 % en 1994). L'originalité de la Mousse, essentiellement caractérisée par *Scapania undulata* détermine l'axe 1. L'axe 2 oppose, d'une part, les secteurs courants plus ou moins ombragés de la Fontaine au Héron, du Roche Elie, du Grand Etinoux amont et de la Gourbe caractérisés par les bryophytes, et *Lemanea* sp., aux ruisseaux éclairés, souvent plus lents et surtout dominés par des héliophiles, hydrophytes comme *Ranunculus peltatus* ou héliophytes comme *Iris pseudacorus*, *Apium nodiflorum* ou *Mentha aquatica*, ainsi que par la Vauchérie, dont les types sont le Gué Chartier et la Plesse.

Une seconde analyse excluant la Mousse, précise la distribution des espèces et des ruisseaux, en dissociant les stations courantes : la Gourbe et la Blandinière sont plutôt caractérisées par *Fissidens pusillus*, *Lemanea* sp. et *Oxyrrhynchium rusciforme*, alors que le Roche Elie est caractérisé par *Scapania undulata* et la Fontaine au Héron par *Chiloscyphus polyanthus*

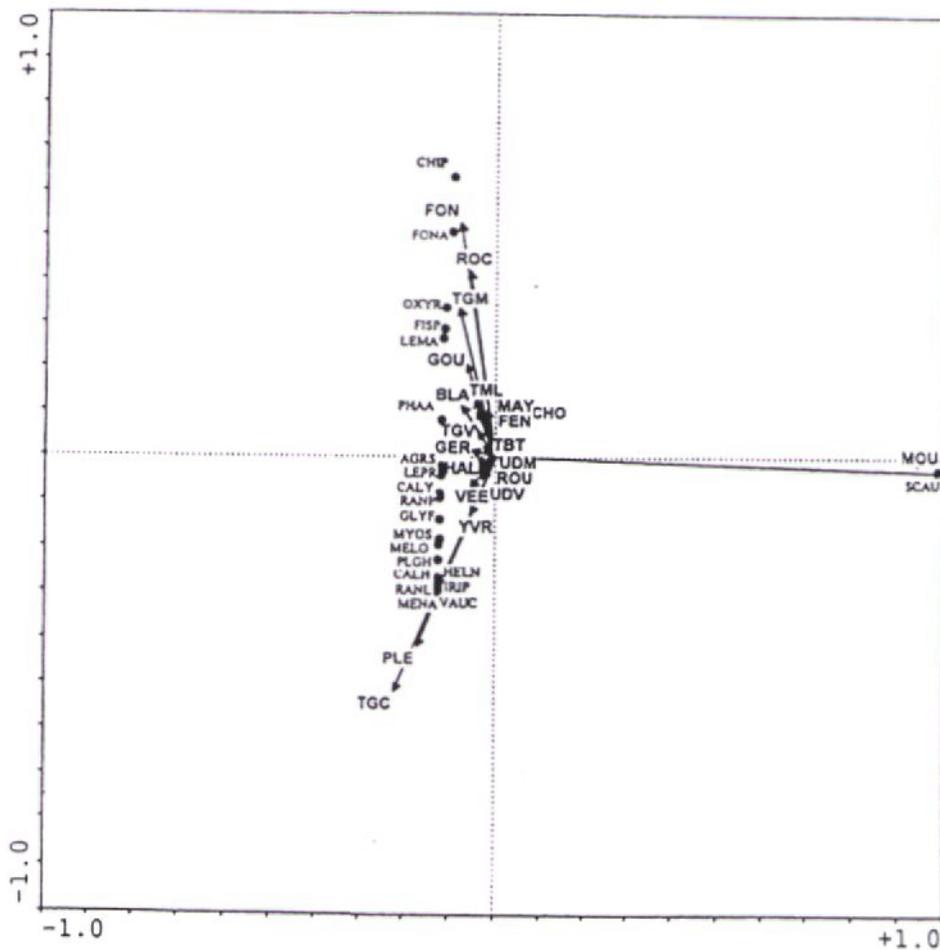


Figure 97 : Plan factoriel de l'ACC sur les relations macrophytes-ruisseau - Phase 3.

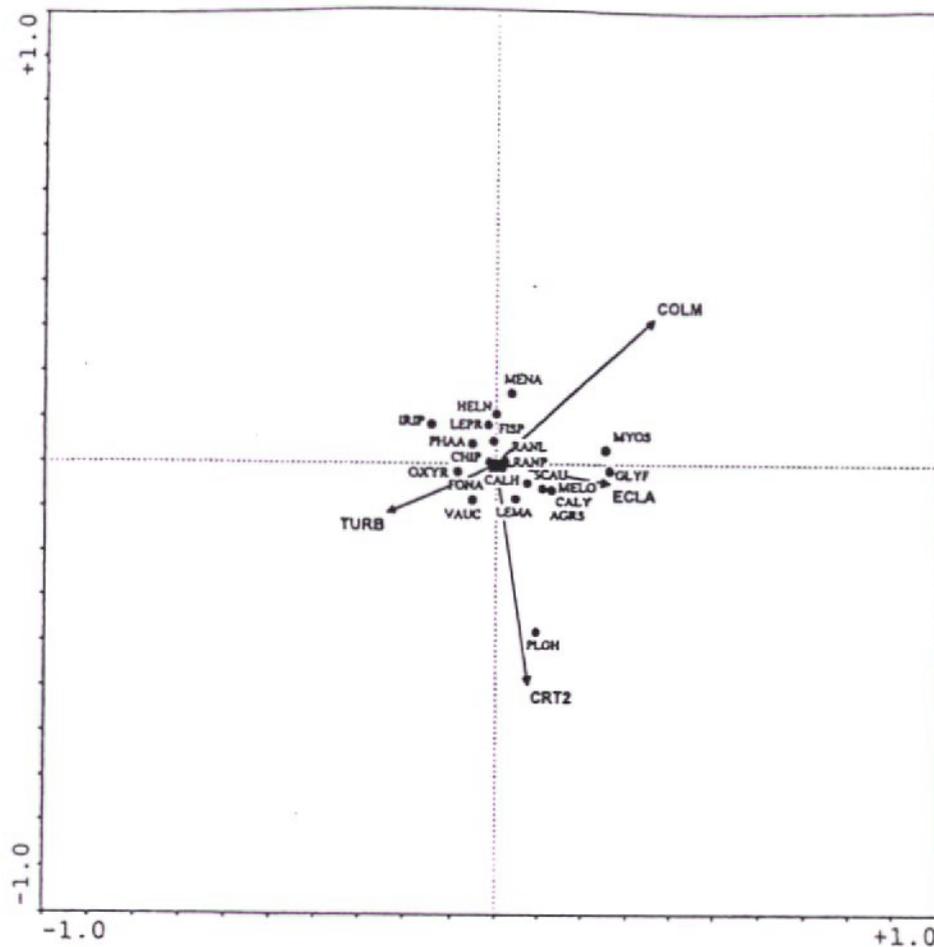


Figure 98 : Plan factoriel de l'ACC sur les relations macrophytes-variables mésologiques à l'échelle du faciès d'écoulement (sélection pas-à-pas au seuil 5 %) - Phase 3.

Les relations macrophytes-variables mésologiques (Figure 98) correspondent à une variance totale de 4,087, la variance expliquée par les 4 variables environnementales retenues *in fine* étant seulement de 0,198, soit 4,84 % (8,31 % en 1994).

Deux sélections ont été effectuées :

- une sélection avec un seuil de 5 %, ce qui donne une probabilité d'erreur de 2 % et un F-ratio de 2,27. Dans ce cas, les variables mésologiques retenues sont, par ordre d'importance : les cascades, les galets, les argiles et limons, la profondeur, la largeur, les racines et débris végétaux, les sables, le taux de boisement des berges, l'écoulement friselis, les graviers, l'écoulement lisse, le Nombre de Froude, la longueur, les blocs et les abreuvoirs.
- une sélection maximale, qui donne 13 % de probabilité d'erreur, avec un F-ratio de 2,03. Dans ce cas, les variables mésologiques pertinentes sélectionnées sont : le colmatage, l'écoulement turbulent, l'éclairement et les courants en retour. Le plan factoriel fait ressortir l'influence de l'éclairement dans la sélection des héliophytes, *Glyceria fluitans*, *Myosotis scorpioides*, des hydrophytes comme *Callitriche platycarpa* et de l'algue *Melosira* sp.. *Polygonum hydropiper* semble surtout inféodé aux courants en retour, les bryophytes, ainsi que *Vaucheria* sp. semblant plus particulièrement abondants en zone turbulente. A l'inverse, *Mentha aquatica* semble plutôt inféodée aux zones colmatées.

Les relations macrophytes-types de faciès ne permettent pas d'expliquer la répartition des macrophytes, puisque les résultats de l'ACC ne sont pas significatifs, la probabilité d'erreur étant de 40 %, bien que l'écoulement turbulent, prépondérant dans la typologie visuelle, fasse partie des 4 variables mésologiques retenues dans l'analyse précédente.

74 - Intérêt de cette échelle du faciès d'écoulement et des analyses canoniques des correspondances.

741 - Comparaison des deux phases analysées par ACC

Les deux phases donnent des résultats assez comparables, avec des pourcentages de variance expliquée par l' « effet-ruisseau » toujours très prépondérants sur les « effets-faciès » et sur les modèles explicatifs de régression pas-à-pas à partir des variables mésologiques. Toutefois, les macrophytes semblent encore moins expliqués par les variables mésologiques lors de la phase 3 que lors de la phase 2.

Du point de vue des variables mésologiques explicatives sélectionnées pas-à-pas, de fortes différences apparaissent entre les deux phases. Ainsi pour les poissons la mesure de la vitesse maximale apparaît nécessaire, l'importance de la végétalisation ressort pour la phase 2; alors que pour la phase 3, les estimations visuelles de la granulométrie, du colmatage, de l'écoulement et des caches semblent quasiment suffisantes pour étudier les relations poissons-faciès, et que seule la mesure de la profondeur serait nécessaire pour caractériser les faciès.

742 - Signification de cette échelle du faciès d'écoulement

Deux principales conclusions peuvent être tirées de cette étude à l'échelle du faciès d'écoulement :

1 - au sein d'un même ruisseau, il existe effectivement des différences de colonisation par les macrophytes et les poissons selon les faciès d'écoulement, voire les types de faciès.

Cela veut dire qu'il est indispensable de prendre en considération les faciès d'écoulement comme variable explicative des distributions des communautés, et d'étudier au moins une séquence de faciès.

Toutefois, les pourcentages de variance expliquée par les types de faciès pour chacun de ces deux compartiments biotiques restent souvent assez faibles, ce qui correspond à une forte plasticité écologique de beaucoup d'espèces de macrophytes ou de poissons, dont la Truite. Comme les colonisations restent très en deçà d'une occupation maximale de l'espace, tout au moins pour les macrophytes, la concurrence (qui exacerbe le cantonnement dans les zones d'optimum écologique) s'avère limitée. Par ailleurs, les « espèces rares » ne permettent aucune prospective qualitative du peuplement.

Dans l'état actuel des résultats acquis, et compte tenu de la variabilité inter faciès de même type, il n'est pas possible de répondre à la question : combien de séquences faut-il étudier pour avoir une vision quantitative représentative de la communauté pisciaire ou macrophytique d'un tronçon ? Une étude spécifique serait à mener sur ce point d'échantillonnage. Ce qui est certain, c'est qu'il faut étudier au minimum une séquence de faciès, pour intégrer au moins partiellement ce niveau de variabilité au sein des stations d'étude.

2 - lorsque l'on mélange des ruisseaux aussi différents que ceux de l'Observatoire des Rivières, la prédominance de l'effet ruisseau ressort.

Chaque ruisseau correspondant à un cas assez particulier, avec des communautés spécifiques, il n'y a pas de biocénoses strictement inféodées à tel ou tel type de faciès quelque soit le ruisseau, même si, au sein d'un même ruisseau, une sélection s'opère. Plusieurs remarques en découlent :

- Lorsque l'on considère plusieurs stations appartenant au même cours d'eau, elles sont en général assez proches dans les plans factoriels, à niveau de perturbation comparable.- Il y a un « effet d'île biocénotique et probablement également fonctionnelle » important dans ces têtes de bassin versant.
- Le mélange de ruisseaux de taille, de statut trophique et de type différents se traduit par la prédominance de cet effet ruisseau, qui masque donc un effet faciès existant mais secondaire.

L'idée que le faciès d'écoulement constitue un « grain hydrodynamique » incontournable n'est donc que partiellement vérifiée : les faciès traduisent les interrelations morphodynamiques entre le courant et le lit et déterminent un motif plus ou moins répétitif qui est utilisé de **façon souple** par les biocénoses.

Il serait envisageable de tester l'effet faciès par rapport à l'effet ruisseau en multipliant les ruisseaux du même type et du même gabarit.

Compte tenu du poids de la variable ruisseau par rapport à celle du type de faciès et même aux variables mésologiques, il semble peu judicieux de se focaliser sur une étude séparée à l'échelle du faciès d'écoulement dans le cadre biotypologique avec si peu de ruisseaux. Si un choix est à opérer, il faudrait plutôt réduire les longueurs de stations et **multiplier le nombre de ruisseaux prospectés**.

En conclusion, ce traitement approfondi des données à l'échelle du faciès d'écoulement permet de **rester critique envers les études biotypologiques**, mais aussi d'envisager de **sélectionner les variables environnementales les plus pertinentes** : colmatage, profondeur, éclaircissement, % de granulométrie grossière, caractéristiques d'écoulement de surface, et, plus accessoirement, vitesse d'écoulement.

8 - DISCUSSION GENERALE : PERSPECTIVES ET RECOMMANDATIONS DE GESTION

81 - Limites et intérêt de l'étude

811 - Intérêt du jeu de données

Ce jeu de données s'avère très original à la fois par l'aspect multi-compartiments, la focalisation sur les petits cours d'eau, l'existence de plusieurs phases dans l'étude et le suivi d'un aménagement. Le panel de stations apparaît donc intéressant pour jauger de l'évolution de ces têtes de bassin versant dans un territoire *a priori* relativement préservé.

L'enjeu est bien de **gérer les petits ruisseaux dans leur corridor**. Pour cela, les interrelations entre compartiments font apparaître :

- la **complémentarité de diagnostic de chaque compartiment**, ce qui renvoie à une nécessaire interdisciplinarité des études de fonctionnement des hydrosystèmes.

Il ne peut alors être question d'aborder le fonctionnement des petits ruisseaux uniquement à travers le prisme d'un seul compartiment, fût-il « intgrateur » car situé en bout de chaîne trophique comme le poisson. Dans l'état actuel de nos connaissances, pour porter un diagnostic fonctionnel des ruisseaux, il s'avère indispensable d'avoir une vision :

- sur les compartiments abiotiques, habitat physique et qualité de l'eau, qui vont déterminer le fonctionnement du cours d'eau et traduire la dégradation des conditions de colonisation et de survie des organismes vivants,

- sur les producteurs « internes » de matière organique que sont les macrophytes, mais aussi, dans l'idéal, le périphyton, ainsi que les producteurs « externes », végétation herbacée des berges trempant dans l'eau et surtout ripisylve,

- sur les consommateurs de matière organique que sont les invertébrés et les poissons, en différenciant leur place respective au sein de la chaîne trophique.

Ce sont bien ces relations trophiques qui sont à la base du fonctionnement interne des cours d'eau.

- la **variabilité spatiale des relations est donc importante**, ce qui amène à suggérer une **extension du panel d'étude**, par exemple dans le cadre du Réseau Hydrobiologique et Piscicole du Conseil Supérieur de la Pêche.

Ainsi l'inféodation de certaines espèces aux faciès ou aux facteurs mésologiques est modifiée selon le gabarit des cours d'eau, comme pour la Truite. On doit alors se poser la question d'une biotypologie fonctionnelle intégrant ces effets de seuil et de glissement d'optimum écologique. A l'évidence, les 21 stations de l'Observatoire ne peuvent suffire à répondre à la question de cette variabilité des relations entre les espèces ou les communautés et leurs biotopes.

- la **variabilité temporelle** justifie la notion même d'Observatoire, mais exigerait un suivi très régulier des stations, déjà effectué dans le cadre du R.H.P. pour les poissons.

Ce suivi apparaît nécessaire pour les caractéristiques physico-chimiques des eaux et les événements hydrologiques (crues et sécheresses à des périodes clés pour certaines espèces). Une caractérisation temporelle de l'habitat (pas seulement envisagé sous l'angle piscicole voire halieutique, mais aussi pour les invertébrés et les macrophytes) est nécessaire pour déterminer quelles sont les phases et événements clés qui vont déterminer la capacité d'accueil et de colonisation de l'habitat. Une des surprises des phases successives a été de voir à quel point les ruisseaux évoluent, tant par la dynamique de la ripisylve que par les interventions humaines (exploitation du taillis des berges, création d'abreuvoir, pénétration d'animaux dans le cours d'eau, vidange d'étang, rejets directs, ...).

En conséquence, un **état des lieux approfondi** doit être préconisé, de façon à obtenir des **références fiables et datées**.

Cet état des lieux, appliqué au P.N.R. Normandie-Maine, a d'ores et déjà fait apparaître de nombreuses dégradations de ces petits cours d'eau en tête de bassin versant, supposés de bonne qualité (bassins versants forestiers et bocagers) et protégés (dans le cadre d'un parc naturel régional). Ce n'est malheureusement pas le cas général, et de nombreux indices de dégradation sont patents.

812 - Limites du jeu de données et de l'étude

Plusieurs limites sont apparues au cours de cette étude qui s'est étendue sur plus de 10 ans, y compris le traitement des données. Ces limites sont dues au jeu de données, aux protocoles retenus, aux observateurs, à l'organisation générale du projet.

8121 - Un jeu de données trop limité

La question initiale d'un observatoire des rivières supposait un suivi relativement léger d'un nombre assez limité de stations. Le choix de stations très différentes, censées représenter la diversité des situations des petits cours d'eau était justifié dans cette perspective d'écologie descriptive et de suivi de stations. Il était pionnier dans la mesure où la notion même d'observatoire des petits cours d'eau était innovante.

La dérive du programme vers de l'écologie fonctionnelle et des recommandations de gestion s'est avérée démesurée par rapport à un jeu de données restreint où chaque cours d'eau est apparu comme un cas particulier. Néanmoins les tendances qui sont apparues dégagent des pistes de recherche intéressantes qui sont la source de recherches plus ciblées : importance du colmatage et des abreuvoirs, études de suivi d'aménagement de cours d'eau, réflexion sur les métriques de l'environnement et leur adaptation aux petits cours d'eau.

8122 - Des protocoles d'étude qui se sont testés au cours de la phase 1 et une réorientation progressive du plan d'échantillonnage

Les protocoles d'étude se sont progressivement affinés, à partir de l'étude menée sur le Ruisseau de la Roche (HAURY *et al.*, 1995), qui a permis de travailler au niveau du faciès d'écoulement en tout petit cours d'eau. Ces protocoles se sont confrontés à la lourdeur de leur mise en oeuvre, mais aussi à la difficulté d'appliquer une même précision et des estimations visuelles comparables à des milieux assez différents. Ainsi le colmatage a-t-il progressivement pris en compte, et les transects par faciès, de mise en oeuvre très lourde et peu significatifs statistiquement ont-ils été abandonnés.

La réorientation de l'échantillonnage après la phase 1 (HAURY & RICHARD 1993), avec l'adjonction de stations forestières et productives en truites était nécessaire. De même, l'analyse synchrone des stations permettait seule des comparaisons ne mettant pas en jeu également des disparités hydrologiques interannuelles. Malgré les précautions prises (maintien de séquences de faciès complètes, taux de réduction inférieur à 50 %), la réduction de la longueur des stations, indispensable en raison de la lourdeur du travail à l'échelle du faciès d'écoulement, en théorie non dommageable pour les comparaisons ultérieures, s'est avérée constituer un handicap sérieux, la phase 1 s'avérant trop hétérogène pour être analysée de la même manière que les deux autres phases. Par rapport aux différenciations de sous-secteurs floristiques (HAURY 1989 à 1992), ce handicap était prévisible.

8123 - Une problématique complémentaire : l'étude des effets écologiques de la restauration des petits cours d'eau

L'adjonction de l'étude Tilleul à partir de 1991 a permis d'étudier plusieurs stations sur un même cours d'eau, et de suivre les effets d'un aménagement. De nouvelles méthodes d'étude ont alors dû être mises au point, cette étude multicompartiments d'une restauration de petits cours d'eau ayant un caractère pionnier.

Le choix de ce cours d'eau s'est avéré peu judicieux pour le compartiment ichtyologique après les pêches électriques, mais, en raison des travaux déjà commencés, le suivi des impacts écologiques a été maintenu.

8124 - De multiples partenaires et intervenants

Au total, ce sont plus de 25 personnes qui sont intervenues sur le projet. Toutefois, les responsables de l'étude de chacun des compartiments biotiques sont restés les mêmes, et, pour les phases 2 et 3, c'est le même observateur qui a réalisé la description mésologique des faciès d'écoulement.

Malgré des protocoles aussi détaillés que possible, d'inévitables distorsions d'estimation sont intervenues lors des suivis, notamment sur le Tilleul : certaines données sont donc à analyser avec précaution. Néanmoins, l'ensemble du jeu de données reste largement interprétable et permet de suivre l'évolution des stations.

813 - Des méthodes indicielles qui doivent être adaptées aux petits ruisseaux

Les méthodes indicielles d'estimation de la qualité de l'eau, voire de la qualité des cours d'eau ont en général été mises au point pour des cours d'eau plus importants que ceux de l'Observatoire des Rivières. Une réflexion sur l'adaptation des métriques de l'environnement à ce contexte des petits réseaux hydrographiques est alors nécessaire.

8131 - Limites des indices macrophytiques

Les indices macrophytiques (HAURY *et al.*, 1996) ont été testés sur des cours d'eau de taille moyenne, dont le Tilleul. Ils semblent en limite d'application sur les réseaux hydrographiques, dans la mesure où, en raison à la fois de l'ombrage et de la taille des cours d'eau, la colonisation végétale par des espèces réellement aquatiques est restreinte. Dans ces conditions, le nombre d'espèces sur lesquelles s'établit le diagnostic est réduit. Le recours à la pondération par le recouvrement ne résoud rien en milieu trop ombragé, et seule la prise en considération des espèces supra-aquatiques peut aboutir à un diagnostic dont la pertinence demeure contestable.

L'analyse des recouvrements des types biologiques et de la végétalisation en général traduit néanmoins certains aspects du fonctionnement des ruisseaux.

Il serait alors important de croiser les indices macrophytiques avec la recherche d'espèces indicatrices, et avec les caractéristiques de la végétalisation pour porter un diagnostic du type :

absence de macrophytes --> milieu trop fermé

présence de macrophytes en faible quantité

a - Recherche d'espèces indicatrices

b - Calcul des indices macrophytiques

c - Analyse de la structure de la végétation (faciès colonisés, zones de courant ou marginales, taches de lumière, ...).

8132 - Une évolution proposée pour les indices biotiques invertébrés

La méthode I.B.G.N. d'estimation de la qualité de l'eau avec les invertébrés (AFNOR 1992) est critiquable, compte tenu de sa précision taxonomique (HAURY *et al.*, 1996c). Toutefois, à partir des données I.B.G.N. avec dénombrement des taxons, il est possible d'affiner le diagnostic écologique.

Comme le souligne le guide technique de l'I.B.G.N. (Anonyme 1994), différentes précautions doivent être prises à la fois dans l'échantillonnage, mais aussi dans l'interprétation.

RICHARD et BIDAL (1998) ont proposé une méthode complémentaire de l'I.B.G.N., utilisant les deux indices de calcul du Cb2 de VERNEAUX (non publié) : l'indice de nature qui correspond à la qualité de l'eau, et l'indice de variété qui exprime l'habitabilité physique du milieu. Ils observent que cette dernière est accrue dans les systèmes très courants, même eutrophisés, ce qui se traduit par des I.B.G.N. élevés (ce qui a également été observé par HAURY 1997), les espèces polluo-sensibles s'y maintenant grâce à la forte oxygénation du

milieu. L'eutrophisation, par la production primaire importante qu'elle entraîne peut favoriser la richesse taxonomique, notamment le nombre de mollusques.

Ils proposent alors deux indices complémentaires :

- « l'indice d'équilibre est établi à partir de la liste faunistique détaillée [...], dont les effectifs sont intégrés en classes d'abondance de puissance 2, dans un graphique établi sur la base des 92 taxons du Cb2, classés selon la valeur de leur coefficient indicateur (de 1 à 9) :

$$\text{IND.EQ} = 20 + 333P$$

où P est la pente de la régression linéaire entre les groupes indicateurs de polluo-sensibilité (x) et les classes d'abondance (y) (pente toujours ≤ 0)

Ces auteurs remarquent que dès qu'il y a disparition des taxons polluo-sensibles ou prolifération des taxons polluo-résistants, la valeur absolue de la pente augmente, et donc l'indice d'équilibre diminue.

- « l'indice d'enrichissement » (trophique) est obtenu à partir de la valeur de l'ordonnée à l'origine de la régression précédente (B) selon la formule suivante :

$$\text{IND. ENR.} = 20 - 5 (B-1).$$

RICHARD a ainsi calculé les 3 valeurs pour les invertébrés benthiques de la phase 3 (Tableau XVIII et Annexe 9).

Tableau XVIII : Résultats des 3 indices sur les invertébrés : I.B.G.N., IND.EQ. et IND.ENR.

| Stations | I.B.G.N. | IND.EQ. | IND.ENR. |
|--------------------------|----------|---------|----------|
| Blandinière | 14 | 14 | 15 |
| Choisel | 15 | 16 | 17 |
| Fendrie | 15 | 17 | 17 |
| Fontaine au Héron | 16 | 15 | 15 |
| Gérard | 14 | 13 | 15 |
| Gourbe | 15 | 16 | 17 |
| Halouze | 17 | 17 | 17 |
| Mayenne | 14 | 15 | 16 |
| Mousse | 13 | 19 | 20 |
| Plesse | 15 | 12 | 14 |
| Roche-Elie | 15 | 18 | 17 |
| Rouvre | 15 | 12 | 13 |
| Tilleul Gué Chartier | 15 | 13 | 15 |
| Tilleul Gd Etinoux amont | 10 | 11 | 14 |
| Tilleul Gd Etinoux aval | 12 | 9 | 11 |
| Tilleul Moulin Lassue | 18 | 14 | 14 |
| Tilleul Bois du Triage | 15 | 16 | 16 |
| Udon amont non réaménagé | 16 | 15 | 14 |
| Udon médian réaménagé | 17 | 15 | 14 |
| Vée | 16 | 12 | 13 |
| Yvrande | 18 | 17 | 17 |

Il en ressort que la Plesse et la Rouvre qui ont un assez bon IBGN de 15 subissent une dégradation de l'équilibre due notamment au recalibrage de ces stations, de même que la Vée où le colmatage des fonds fait chuter l'indice d'équilibre. A l'inverse, pour la Mousse, l'indice d'équilibre et l'indice d'enrichissement sont particulièrement « bons », et corroborent le diagnostic établi avec les macrophytes.

Ces indices, encore provisoires, devraient être testés sur un panel plus important de stations, mais, malgré leur caractère apparemment empirique au niveau du choix des coefficients, ils semblent être assez bien adaptés à un diagnostic de qualité d'eau et de qualité du milieu physique, complétant ainsi l'I.B.G.N.

8143 - Signification de l'indice truite et prospective sur des indices poissons

L'estimation du peuplement pisciaire en regard de la qualité de l'eau et du milieu peut s'effectuer en comparaison avec les niveaux typologiques de VERNEAUX (1973 et 1977), à l'instar des travaux de VIGNERON et CHAPON (1996).

RICHARD (1993), dans son indice Truite a essayé de se donner une estimation de la population de cette espèce d'intérêt halieutique majeur pour les têtes de bassin versant. Issu d'une très bonne connaissance de ce type de système, cet indice multicritère (densité/100 m², biomasse/100 m², effectif/100 m et biomasse/100 m) donne une note sur 20.

Différents indices poissons sont en cours de tests. En tout état de cause, si l'on veut utiliser les poissons dans le diagnostic écologique, il serait intéressant de prendre en considération l'écologie des espèces, telle qu'elle peut apparaître dans les analyses espèces-milieu.

82 - Une démarche spécifique d'étude des petits ruisseaux : de l'acquisition de données scientifiques rigoureuses à l'élaboration d'outils de gestion

821 - Le problème spécifique des petits ruisseaux

Un problème spécifique des petits ruisseaux apparaît dû à maintes fragilités : leur faible intérêt piscicole, leur dimension restreinte, quelquefois leur statut même de ruisseau plutôt que de fossés, leur sensibilité à l'aménagement, notamment au recalibrage, leur contact direct avec les sources de pollution (rejets directs, faible largeur des zones tampons que sont les zones humides associées au réseau hydrographique), leur entretien restreint ou alors drastique lors de certaines opérations de nettoyage.

Par ailleurs, peu de données concernent ces petits cours d'eau, spécialement en plaine et pénéplaine où leur étude s'est en général cantonnée aux poissons, et parfois aux invertébrés benthiques.

Or l'influence du milieu physique du lit, d'une part, et, d'autre part des berges et de leur ripisylve sont importantes. Les recherches préliminaires menées dans le cadre de cet Observatoire ont permis de lever certaines inconnues, mais ont montrés des limites liées à l'aspect novateur du protocole d'étude et à un panel de stations trop restreint.

Il faut donc désormais proposer un corpus méthodologique approprié aux caractéristiques de ces milieux. //

822 - Mise au point de protocoles allégés de suivi stationnel

La lourdeur des opérations amène à envisager **une simplification des protocoles de suivi, sinon de caractérisation initiale.**

8221 - Caractérisation en début d'étude

En début d'étude, l'état initial doit être réalisé de façon aussi rigoureuse que possible.

Un équipement des stations qui devront être suivies devrait être envisagé :

- bornage exact,
- définition de transects de référence,
- échelle limnimétrique pour permettre aisément le suivi de niveau d'eau (ou calibration avec d'autres sites équipés).

La phase d'inventaire et de description de l'habitat est incontournable. En raison de l'importance de la ripisylve, celle-ci devrait faire l'objet d'un **comptage d'individus.**

Les embâcles, points d'érosion ou d'abreuvement devraient être recensés (voire cartographiés succinctement).

Pour l'étude des compartiments biotiques, des relevés floristiques fiables, des I.B.G.N. avec comptage et présentation des substrats de prélèvement et des inventaires par pêche électrique (2 passages) sont préconisés.

On évitera de choisir et de décrire des stations trop courtes pour des raisons de **représentativité biotypologique.** Toutefois, si l'on prévoit un suivi ultérieurement, des **sous-secteurs** devront être définis rigoureusement. Ce seront ces sous-secteurs qui feront l'objet de suivi (par exemple une séquence complète de faciès d'écoulement).

8222 - Propositions pour le suivi de stations

Parmi les possibilités d'allègement du suivi, on peut citer :

- Pour la physico-chimie, la **conductivité est à suivre en permanence** pour orienter des prélèvements ultérieurs. Les dosages de nitrates sont à réaliser en automne et à la fin de l'hiver, de l'ammonium et des orthophosphates à l'étiage. Dans l'idéal, une caractérisation complète d'une nouvelle station à l'étiage serait souhaitable.

- Pour la **description du milieu physique**, un **parcours avec délimitation des séquences**, un examen du **colmatage**, de la **granulométrie** et des **caractéristiques de l'écoulement de surface** pourraient suffire : les estimations de cache, les mesures de vitesse, voire de profondeur par faciès ne se justifient plus, hormis dans une perspective de recherche, **et comme première caractérisation d'une station dont le suivi est programmé**. Dans ce dernier cas, une **échelle limnimétrique** par station est indispensable pour connaître la **profondeur**. Une estimation de l'**éclaircissement** doit toutefois être réalisée à chaque opération, la ripisylve et donc l'ombrage procuré étant un élément très variable dans le temps.

- Pour les **macrophytes**, le **taux de végétalisation** avec les différents types biologiques, la **recherche de quelques espèces indicatrices** de la qualité de l'eau (*Scapania undulata*, *Chiloscyphus polyanthus*) ou de sa dégradation (*Vaucheria* sp., *Eloдея canadensis*, *Callitriche obtusangula*) pourraient suffire, **dans ce type de milieu**. Pour chaque **nouvelle station** destinée à être suivie, une **caractérisation floristique**, comparable à celle envisagée pour le milieu physique, serait souhaitable.

- Pour les **invertébrés**, la **sélection de quelques substrats favorables** (racines d'aunes ou macrophytes dans le courant, graviers et cailloux également dans le courant), ainsi que d'**un substrat défavorable** (limons, sables colmatés) permettrait d'avoir une assez bonne idée de la diversité et des écarts entre zones favorables et défavorables (comme dans l'Indice Biotique de TUFFERY et VERNEAUX qui donne souvent de meilleurs résultats que l'I.B.G.N.) sans devoir effectuer les 8 prélèvements de l'I.B.G.N..

Par ailleurs, une attention plus particulière aux traits biologiques et à l'écologie des espèces, d'une part, et aux structure de peuplement, d'autre part, (RICHARD & BIDAL, non publié) devrait permettre de faire évoluer les métriques de l'environnement dans ces petits cours d'eau, en utilisant aussi les invertébrés comme témoins de la trophie des milieux.

- Pour le poisson, les **pêches séparées par habitat ne se justifient probablement pas, sinon éventuellement en début d'étude**, et, au vu des résultats, il serait probablement possible de **ne conserver qu'une séquence** lors des échantillonnages de suivi, compte tenu de la variabilité intra-ruisseau, mais aussi inter faciès de même type.

- En revanche, un **examen attentif de l'état des berges et du corridor** sont à recommander, en appliquant des protocoles simplifiés de description, comme ceux déjà proposés par HAURY & BOSSARD (1992) pour les petits cours d'eau d'Ille-et-Vilaine. Les paramètres à prendre en compte ont été testés.

83 - Recommandations de gestion

831 - Les recommandations de gestion issues de l'étude de cas sur le Tilleul

Cette étude fait apparaître, grâce au détail qu'elle autorise, diverses recommandations qui sont liées au cas concret.

* Gestion de la ripisylve et des embâcles.

L'enlèvement des embâcles, bien qu'il permette une amélioration des conditions hydrauliques, empêche le maintien de zones profondes, qui sont par ailleurs généralement peu représentées sur des petits cours d'eau en tête de bassin versant et qui constituent des zones de refuge pour les individus adultes de truite.

La gestion des embâcles doit correspondre à un équilibre entre l'écoulement que l'on veut restaurer et le potentiel de caches offert par les autres structures d'abri. Avant d'entreprendre une opération de nettoyage il serait donc souhaitable:

1) de faire un inventaire des embâcles présents sur le cours d'eau et de déterminer pour chacun d'entre eux si la gêne pour l'écoulement est vraiment importante ou si au contraire, il contribue à la diversification du milieu;

2) d'estimer la disponibilité d'autres abris.

D'autre part, il faudrait se demander, en vue de l'évolution observée sur le Grand Etinoux Amont, si l'enlèvement des embâcles n'entraîne pas une érosion régressive au niveau des berges situées à proximité.

La gestion de la ripisylve manque de connaissances scientifiques sérieuses et elle est souvent l'objet de pratiques très empiriques. Les données acquises en suivi de souches montrent la complexité du problème liée à la physiologie des arbres et arbustes de la berge et du fonctionnement de l'ensemble du peuplement. Des règles empiriques de sélection de tire-sèves, de refaçonnage de têtards, de redressement de souches ont été dégagées et devraient être confrontées à la réalité de terrain, et au suivi à long terme du devenir des zones aménagées.

Au niveau d'un ruisseau comme le Tilleul, l'aménagement doit être aussi limité que possible afin de ne pas déstabiliser l'écosystème à la fois rivulaire et aquatique. La notion **d'intensité de l'aménagement** apparaît alors. *A priori*, d'après ce qui a été observé sur le Tilleul, l'aménagement aussi limité que possible est positif dans le sens où il ne trouble pas trop l'écosystème; par contre, son effet rapidement limité dans le temps impose, si on veut le maintenir, un entretien régulier assez fréquent (tous les 3-4 ans). Toutefois, il faut préciser que, suivant l'échelle à laquelle on se place, "ruisseau" ou "rivière", l'intensité du traitement et la fréquence de l'entretien seront différents: en milieu "ruisseau", dès que la végétation se densifie, l'éclairement est immédiatement réduit sur toute la surface de l'eau; par contre, lorsqu'il s'agit d'un cours d'eau plus important, une repousse équivalente de la ripisylve ne provoque une baisse de l'éclairement qu'à proximité des berges.

Une gestion conjointe de la ripisylve et de la berge est donc souhaitable. A ce niveau-là, il semble positif de favoriser le développement de la strate arbustive, qui permet une plus forte consolidation de la berge et un plus grand et durable éclairement latéral. La clôture du cours d'eau s'avère favorable vis-à-vis de la densification et diversification de la strate arbustive.

L'alternance de zones éclairées, avec prédominance de la strate arbustive, et zones ombragées, avec prédominance de la strate arborescente, peut être également envisagée sur ces petits cours d'eau, où le renfermement de la canopée, suite à la coupe et l'élagage, est assez rapide. De façon générale, il serait préférable de favoriser l'éclaircissement sur des habitats plus courants, propices à la reproduction de la truite, tout en maintenant un ombrage sur des habitats plus profonds, où se réfugient les individus adultes.

* Problèmes de stabilité des berges.

Ces problèmes sont à relier à des différentes causes:

- au piétinement du bétail (surtout dans le cas du Grand Etinoux Aval), qui éboule les berges. Il est nécessaire de protéger le cours d'eau contre les intrusions du bétail, y compris au niveau des gués, ce qui suppose de clore le cours d'eau (installation de barbelés) et de gérer la ripisylve lorsqu'elle existe.
- à l'impact des pratiques d'abreuvement direct dans le cours d'eau. Cette pratique devrait être limitée dans la mesure du possible puisqu'elle constitue probablement une des causes majeures de colmatage. Les abreuvoirs doivent être aménagés afin de limiter l'impact du bétail dans le cours d'eau. Le colmatage est, sur le Tilleul, aggravé par la présence d'étangs sur le cours d'eau (relargage de matière organique en décomposition et d'algues dans le cours d'eau).
- à la chute d'arbres dans le lit ou sur la berge, cette chute pouvant être due à un enracinement superficiel (comme c'est le cas pour les saules), à une trop grande hauteur qui donne prise au vent ou à un effet de sape du courant. Elle provoque l'apparition d'embâcles sur le cours d'eau et, ce qui est plus important, un processus érosif des berges dû, soit au déracinement, soit à l'altération de l'écoulement.
- à l'impact du recalibrage (sur le Gué Chartier). Le recalibrage est à éviter au maximum, car il entraîne une forte érosion des berges et du lit. Sur le Gué Chartier ce fait a été constaté par l'effondrement de la berge sur plusieurs mètres de longueur. Ceci est à relier avec une absence presque totale de ripisylve sur le secteur. Une estimation des facteurs de risque en terme d'hydrosystème doit toujours être réalisée avant d'envisager ce type d'opération.

832 - Apport du jeu de données pour des recommandations pratiques de gestion

Au delà de l'étude de cas du Tilleul, diverses recommandations apparaissent pour une ébauche de gestion et de restauration des petits hydrosystèmes.

Les milieux et leurs biocénoses évoluent, et l'application des indicateurs (I.B.G.N., Indice Truite - RICHARD 1992 in HAURY et RICHARD 1993 et indices poissons, indices macrophytiques - HAURY *et al.* 1996) permettront d'en rendre compte de façon assez globale. Néanmoins, ce sont plutôt de petites modifications, souvent très localisées, affectant seulement un faciès, quelques mètres de berges qui témoignent de l'altération

récurrente de ces milieux, la cicatrisation en un lieu étant trop souvent compensée par une dégradation ailleurs.

Il s'avère patent que les décisions individuelles des agriculteurs sont tout-à-fait déterminantes dans l'évolution des hydrosystèmes, à travers la gestion du pâturage et de l'abreuvement du bétail, et de protection des berges comme en terme de gestion (en général plutôt de non gestion) de la ripisylve. Par ailleurs, des forestiers interviennent de façon moins fréquente, mais parfois drastique sur le milieu (coupe à blanc de la ripisylve), alors que d'autres, plus soucieux d'un équilibre d'ensemble ont une gestion arbre par arbre du corridor fluvial (Bois du Triage).

Enfin, ces milieux sont extrêmement sensibles aux perturbations climatiques et hydrologiques. Si les crues sont fréquentes, les phénomènes de sécheresse semblent avoir un effet plus drastique. Il est donc nécessaire de préserver un débit d'étiage aussi soutenu que possible en évitant des drainages intempestifs, des recalibrages qui auront pour effet d'accentuer la sécheresse estivale.

La hiérarchisation des facteurs, l'identification des causes des perturbations, l'analyse de leurs impacts sur les biocénoses amènent aux recommandations suivantes :

- **impact du piétinement du bétail** dans les cours d'eau sur tout le linéaire (observé sur la Fendrie, la Fontaine au Héron, ainsi que le Moulin Lassue avant la clôture des stations) ou au niveau de gués (le grand Etinoux amont, la Fontaine au Héron) :

Il est nécessaire de protéger les cours d'eau contre les intrusions du bétail, y compris au niveau des gués, ce qui suppose de clore les cours d'eau, et/ou de gérer la ripisylve lorsqu'elle existe.

- **impact des abreuvoirs dans les cours d'eau** (abreuvement direct) : c'est probablement l'une des causes majeures du colmatage, extrêmement répandue (la DDA de l'Orne chiffre à plus de 20.000 le nombre d'abreuvoirs « sauvages » sur le département.)

Ces pratiques doivent évoluer, à la fois pour la gestion patrimoniale des cours d'eau, les risques de contamination par salmonelles, la protection de la ressource en eau.

Les préconisations sont les suivantes

- **impact des étangs** (Grand Etinoux, Udon, Gourbe, Mayenne, Blandinière, ...) : c'est l'une des causes de dégradation de la qualité de l'eau

La dérivation doit systématiquement être prônée, ce qui a pour double effet de restaurer les possibilités d'accès aux zones de reproduction pour les truites (Mayenne, Gourbe), et d'éviter les relargages trop néfastes de matières organiques et d'algues dans les cours d'eau.

- **impact du recalibrage** : il semble majeur, ses effets semblent importants, mais la récupération des cours d'eau est diverse : très bonne pour la Mayenne, correcte pour la Plesse, faible pour le Gué Chartier et la Rouvre.

En tout état de cause, le recalibrage est à éviter au maximum, car il entraîne une forte érosion des berges et du lit. Lorsqu'il y a possibilité de récupérer des substrats caillouteux

grâce à une pente suffisante et dans un contexte pédo-géologique favorable, la cicatrisation peut avoir lieu. Une estimation des facteurs de risques en terme d'hydrosystème est donc à réaliser.

Parmi les aménagements compensatoires, la création de diguettes sur l'Udon ne s'avère guère probante, non plus que la réimplantation de caches, tentée sur un autre petit cours d'eau normand, la Rouvrette (OMBREDANE et HAURY 1992).

- gestion de la ripisylve et des embâcles.

Bien qu'elle soit l'objet de nombreuses demandes et de pratiques souvent très empiriques, cette gestion manque cruellement de connaissances scientifiques sérieuses à deux niveaux : quel est l'effet réel de la ripisylve et des embâcles qu'elle crée sur le fonctionnement du cours d'eau ? comment fonctionne la ripisylve après un élagage, au niveau de la touffe, de l'espèce, du peuplement ?

Les quelques données acquises en suivi de souches montrent la complexité du problème liée à la physiologie des arbres de la berge et du fonctionnement de l'ensemble du peuplement. Des règles empiriques de nombres de tire-sève, de refaçonnage de têtard, de redressement de souches existent et devraient être confrontées à la réalité de terrain, et au suivi à long terme du devenir des zones aménagées. L'intensité d'aménagement apparaît comme un facteur qu'il faudrait contrebalancer par un entretien réel de la ripisylve.

La gestion des embâcles doit correspondre à un équilibre entre l'écoulement que l'on veut restaurer ainsi que le profil en long du cours d'eau, et le potentiel de caches offert par les autres structures d'abri, y compris les zones profondes nécessaires au maintien des gros individus. Un enlèvement trop hâtif des embâcles se traduira par une baisse du potentiel de grossissement.

Du point de vue du fonctionnement du cours d'eau, la question de l'éclairement du lit par la gestion de la ripisylve en vue d'une restauration du potentiel de production du cours d'eau est fréquente. Si, classiquement on prône l'éclairement des radiers propices à la reproduction des truites et l'ombrage des zones profondes, la Mayenne, particulièrement ombragée constitue un contre-exemple, illustrant la prééminence du milieu physique hydrodynamique sur les conditions lumineuses.

Toutefois, il est indispensable d'étayer ces recommandations par une expérimentation, lorsque c'est possible, et, dans tous les cas, de suivre les opérations d'aménagement et de restauration qui sont pratiquées.

84 - Perspectives :

841 - « Transposabilité de l'étude »

Cette étude a un caractère pionnier qui n'est que partiellement transposable, dans la mesure où la part explicative des ruisseaux sur les biocénoses est prépondérante, ce qui est lié au panel trop restreint de stations.

Deux objectifs peuvent être poursuivis pour cette « transposition de l'étude » :

- obtenir une typologie à peu de frais,

- identifier les problèmes et orienter la gestion d'un tronçon de ruisseau.

Pour « transposer » cette étude, dans une perspective biotypologique, il faudrait adopter la démarche suivante :

- effectuer une reconnaissance du linéaire du cours d'eau sur une longueur suffisante, de façon à déterminer les types d'habitats, et à choisir une ou deux séquences représentatives,
- estimer la largeur et les grandes caractéristiques de l'écoulement
- effectuer un sondage du peuplement pisciaire et/ou invertébré et rechercher les espèces macrophytiques indicatrices ainsi que les caractéristiques globales de végétalisation.

En tout état de cause, la démarche d'inventaire ne peut être omise, aucune relation prédictive milieu-biocénoses n'ayant pu être établie avec une précision statistique suffisante.

Dans la perspective d'une gestion, l'identification visuelle des « points noirs » et l'estimation de leur cause probable, qui ont par exemple présidé à l'élaboration du diagnostic des Schémas de Vocation Piscicole est possible et apportera de nombreux enseignements. **Toutefois, la pertinence de l'analyse suppose des opérateurs entraînés sur la thématique particulière des petits cours d'eau.**

842 - Sensibiliser et former

Des techniques à diffuser et des recommandations pratiques à vulgariser

La mise en place d'observatoires, de stations d'étude, sera certainement poursuivie, pour connaître l'état des hydrosystèmes et pour évaluer l'impact des actions entreprises (par exemple des programmes de mise au normes des élevages). Pour ce faire, les analyses multi-compartiments seront amenées à se développer. Les outils simplifiés d'évaluation seront alors à connaître : identification des espèces indicatrices et estimation des peuplements macrophytiques, protocoles allégés d'inventaires par pêche électriques ou de prélèvement d'invertébrés benthiques, méthodes simplifiées d'identification des faciès d'écoulement et de description des habitats.

Regards critiques sur la bibliographie et proposition d'un corpus méthodologique d'étude des petits ruisseaux.

Les multiples approches de l'habitat piscicole figurant dans la littérature (revue dans HAURY *et al.* 1991, résultats et revues dans GAUDIN *et al.* 1995), ne prennent que rarement en considération les compartiments autres que le poisson.

Les méthodes opérationnelles de description des linéaires de petits cours d'eau restent donc encore partiellement à bâtir. Toutefois les présents résultats montrent que :

- si le faciès d'écoulement est l'unité hydrodynamique visible incontournable, et en tant que telle doit être décrite et étudiée, il est inutile d'acquérir toutes les données biologiques à cette échelle,
- la séquence reste le complexe hydrodynamique représentatif,

- certaines données sont à acquérir en priorité pour leur caractère intégrateur (caractéristiques de l'écoulement en surface, éclaircissement, granulométrie simplifiée), ou pour leur importance fonctionnelles (colmatage).

En tout état de cause, il est nécessaire de distinguer deux étapes :

- une description détaillée du système (en début d'étude),
- un suivi qui doit être aussi peu exigeant en temps et en personnel que possible.

Former et établir des partenariats

Néanmoins, des **formations des intervenants professionnels**, gardes, techniciens, agents de bureaux d'étude, administratifs sont possibles, en s'appuyant sur l'Observatoire des rivières. *Acteurs*

L'ensemble de ces préconisations doit être diffusé auprès des acteurs locaux, qu'ils soient des riverains ou des pêcheurs. Il s'agit en effet de faire évoluer les mauvaises pratiques affectant le cours d'eau, en prenant en considération les logiques de leurs utilisateurs. Dans cette optique, des rencontres avec des agriculteurs et/ou une enquête permettraient de mieux comprendre comment ils perçoivent et gèrent ou non les ruisseaux.

Un **partenariat** avec les Chambres d'Agriculture, les D.D.A. et les Agences de l'eau au profit des Agriculteurs et élus locaux est donc envisageable. *Il oui*

Par ailleurs l'édition de **guide pratique d'entretien et de diagnostic simplifié des cours d'eau** est nécessaire pour diffuser les informations acquises. *vous*

BIBLIOGRAPHIE

- AMOROS C., PETTS, G.E., 1993. Hydrosystèmes fluviaux. Masson, Paris : 300 p.
- ANONYME (Cabinet GAY Environnement), 1994. - Indice Biologique Global Normalisé I.B.G.N. NF T 90-350 - Guide technique. Min. Environnement, Agences de l'Eau, Conseil Supérieur de la Pêche, Paris : 69 p.
- BAGLINIERE J.L., 1979. - Les principales populations de poissons sur une rivière à salmonidés de Bretagne-Sud, le Scorff. *Cybium 3ème série*, 7 : 53-74.
- BAGLINIERE J.L., CHAMPIGNEULLE A., 1982. Densité des populations de truites commune (*Salmo trutta* L.) et de juvéniles de saumon atlantique (*Salmo salar* L.) sur le cours principal du Scorff (Bretagne) : préférendums physiques et variations annuelles (1976-1980). *Acta Oecol. Oecol. Appl.*, 3 (3) : 241-256.
- BENZECRI J.P., 1973. L'Analyse des données. 2 vol., Dunod, Paris. 625 p. + 632 p.
- BIANNIC M., 1997. - *Analyse quantitative multicompartiments des hydrosystèmes en tête de bassin versant*. Mém. CESA Génie de l'Environnement, E.N.S.A. D.E.E.R.N. Ecol. Sci. phytosanitaires & I.N.R.A. Lab. Ecol. aq., Rennes : 42 P; + ann.
- BISSON P.A., SEDELL J.R., 1982. Salmonid populations in logged and unlogged stream sections of Western Washington. Symposium of old-growth forest and fisheries relationships. Juneau, Alaska.
- BOMBONEL J.-P., 1991. - *Etude hydrobiologique de quelques cours d'eau du Parc Normandie-Maine*, 2 vol.. Mém. D.E.S.S. Exploitation des Ressources vivantes côtières Univ. Caen, C.S.P. D.R. 2 Rennes, I.N.R.A. Ecol. hydrobiol. & E.N.S.A. Bot. Rennes, P.N.R. Normandie-Maine : 71 p. + ann., Annexes.
- BONO David, 1998. - *Bilan de la restauration d'un petit cours d'eau : habitat, biocénoses aquatiques et ripisylve - Le cas du Tilleul*. Mém. fin Etudes Ingénieur forestier - Gestion de l'Environnement E.T.S. d'Enginyeria Agrària de Lleida (Univ. Lleida), E.N.S.A. D.E.E.R.N. Ecol. Sci. phytosanitaires : 68 p. + ann.
- BRAAK C.J.F.ter., 1986. Canonical correspondence analysis : a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*, 67, 1167-1179.
- BRAAK C.J.F.ter., 1991. CANOCO version 3.12. Agricultural Mathematics Group, Wageningen.
- BREHIER F., 1995. - Typologie des faciès d'écoulement des petits cours d'eau en tête de bassin versant dans le Parc Naturel Régional Normandie-Maine. Mém. BTS Gestion et Protection de la Nature, L.A. Sées : 33 p. + ann.
- CHAMPIGNEULLE A., 1978. Caractéristiques de l'habitat piscicole et de la population de juvéniles sauvages de saumons atlantiques (*Salmo salar* L.) sur le cours principal du Scorff (Morbihan). Thèse 3ème cycle Biologie Animale. Univ. Rennes I, 92 p.
- CLEMENT B., TOUFFET J., 1988. - Typologie et diagnostic phytoécologique des zones humides de Bretagne. In GEHU J.M. (Ed.) : Phytosociologie et conservation de la nature, *Coll. Phytosociol.* 15 Strasbourg 1987 : 317-348 + 6 tbx H.T., Cramer Berlin, Stuttgart.
- COIFFARD S., 1994. - *Description des bassins-versants des cours d'eau de l'Observatoire des rivières*. P.N.R. Normandie-Maine, Carrouges (61) : 32 p., + cartes.
- COIFFARD S., HAURY J., 1996. - *Analyse multi-compartiments des hydrosystèmes de tête de bassin versant*. Rapp. interm. contr. C.S.P.-Univ. Caen, I.N.R.A. Ecol. aq. Rennes : 40 p.
- COIFFARD S.; HAURY J., RICHARD A., DALIGAULT P., 1995. - *Observatoire des rivières - Bilan de la première et de la seconde phases*. P.N.R. Normandie-Maine, I.N.R.A. & E.N.S.A., I.N.R.A. Lab. Ecol. hydrobiol. & E.N.S.A. Botanique, Rennes, 2 vol., 52 p. + Ann.
- DALIGAULT P., 1993a. - *La Mousse à La Sauvagère (61) - Indice Biologique Global du 22/07/92*. Conseil Supérieur de la Pêche, Dél. rég. Bretagne-Basse Normandie, Cesson-Sévigné : 11 p. + ann.
- DALIGAULT P., 1993b. - *Ruisseau d'Yvrande à Beauchêne (61) - Indice Biologique Global du 21/07/92*. Conseil Supérieur de la Pêche, Dél. rég. Bretagne-Basse Normandie, Cesson-Sévigné : 13 p. + ann.

- DALIGAULT P., 1993c. - *Ruisseau de la Fontaine-au-Héron : Station "Le Jonquerel" à Saint-Aubert-sur-Orne (61) - Indice Biologique Global du 22/07/92*. Conseil Supérieur de la Pêche, Dél. rég. Bretagne-Basse Normandie, Cesson-Sévigné : 11 p. + ann.
- DALIGAULT P., 1993d. - *La Rouvre à Saint-Georges d'Annebecq (61) - Indice Biologique Global du 22/07/92*. Conseil Supérieur de la Pêche, Dél. rég. Bretagne-Basse Normandie, Cesson-Sévigné : 11 p. + ann.
- DALIGAULT P., 1993e - *Suivi scientifique de la restauration du Tilleul. Indices biologiques globaux*. Hydrobio, Décembre 1993: 1-23 + Ann.
- DALIGAULT P., 1994 - *Observatoire des cours d'eau du Parc Naturel Régional Normandie-Maine : Indices biologiques globaux normalisés. Prélèvements de juillet 1994*. Répérage des habitats. Hydrobio, 7 pages.
- DALIGAULT P., PLOMBIN E., 1995 - *Observatoire des cours d'eau du Parc Naturel Régional Normandie-Maine : Indices biologiques globaux normalisés. Prélèvements de juillet 1994 sur 20 stations*. Hydrobio, 1-137 + Ann.
- DANIEL H., HAURY J., 1995. - Effects of fish farms on phytocenoses in acidic rivers. *Acta Botanica Gallica* 142 (6) : 639-650.
- DANIEL H., HAURY J., 1996. - Ecologie des macrophytes aquatiques d'une rivière armoricaine (le Scorff, Bretagne sud, France), application à la bioindication. *Ecologie* 27 (4) : 245-256.
- DELACOSTE M., BARAN P., DAUBA F., BELAUD A., 1993. Etude du microhabitat de reproduction de la truite commune (*Salmo trutta* L.) dans une rivière Pyrénéenne, la Neste du Louron. Evaluation d'un potentiel de l'habitat physique de reproduction. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 331, 341-356.
- DELACOSTE M., BARAN P., LEK S., LASCAUX J.M., 1995. - Classification et clé de détermination des faciès d'écoulement en rivière de montagne. *Bull. fr. Pêche Piscic.* 337/338/339 : 149-156.
- DUBY C. Qualité physico-chimique de 20 cours d'eau du Parc Régional Normandie-Maine, BTS Anabiotec, Promotion 1996/1998, 30 pages + Ann.
- DUTARTRE A., GROSS F., 1982. - Evolution des végétaux aquatiques dans les cours d'eau recalibrés (Exemples pris dans le Sud-Ouest de la France). In J.J. SYMOENS, S.S. EIGLE D., 1994. - Etude des effets morphodynamiques de l'aménagement d'un cours d'eau à salmonides : Le Tilleul, affluent de la Mayenne. ENSA-INRA Rennes, Univ. Clermont, Mém. Maîtrise Biologie des Eaux, P.N.R. Normandie Maine, 45 p. + 1vol. ann.
- ESCOFIER B., PAGES J., 1988. - *Analyses factorielles simples et multiples. Objectifs, méthodes et interprétation*. Dunod ed., Paris. 241 p.
- FRISSEL C.A., LISS W.J., WARREN C.E., HURLEY M.D., 1986. A hierarchical framework for stream habitat classification : viewing streams in a watershed context. *Environ. Manage.* 10, 199-214.
- GARCIA A., 1992a. - *Etude des effets écologiques et morphodynamiques de l'aménagement d'un cours d'eau à salmonides - La restauration du Tilleul, affluent de la Mayenne*. Mém. fin d'études E.N.S.A., I.N.R.A. Lab. Ecol. hydrobiol. & E.N.S.A. Botanique, Rennes, 2 vol., 52 p. + Ann.
- GARCIA A., 1992b. - *Ripisylve du Tilleul*. ENSA Botanique Rennes, non paginé.
- GAUDIN P., SOUCHON Y., VIGNEUX E., 1995. - Colloque Habitat-Poisson, Lyon Décembre 1994. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 337/338.339 : 418 p.
- GODON L., 1992. - *Définition des caractéristiques d'usage d'un bassin-versant - Etat de l'écosystème cours d'eau : application au bassin-versant du Tilleul (61-53)*. Rapp. Stage été INA Paris-Grignon : 29 p. + ann.
- GUINOCHET M., 1973. - *La phytosociologie*. Masson éd. Paris, 227 p.
- HARDING J.P.C., 1978. In Collectif H.M.S.O., 1987. *Methods for the use of aquatic macrophytes for assessing water quality*. Her Majesty's Stationery Office, London, 176 p.
- HAURY J., 1985. - *Etude écologique des macrophytes du Scorff (Bretagne-Sud)*. Thès. Doct.-Ing. Ecologie Univ. Rennes I, 243 p.
- HAURY J., 1988a. - *Note sur la recolonisation végétale de ruisseaux recalibrés mayennais : les ruisseaux de Pont-Perdreau et du Souveron*. Lab. Ecol. hydrobiol. INRA & Chaire Botanique ENSA, Rennes, 14 p.
- HAURY J., 1988b. - *Macrophytes du Scorff (Bretagne-Sud). Distribution des espèces et biotypologie*. *Bull. Soc. sci. Bretagne*, 59 (1-4) : 53-66.

- HAURY J., 1988c. - Macrophytes du Trieux (Bretagne-Nord) : les ensembles floristiques. *Bull. Soc. Sc. nat. Ouest de la France, Nouv. Sér.*, 10 (3) : 135-150.
- HAURY J., 1989. - *Analyse de la flore et de la végétation de quelques ruisseaux normands - Diagnostic écologique et "état zéro"*. Rapp. interm. Contrat P.N.R. Normandie-Maine & INRA Ecol. hydrobiol.. Ec. nat. sup.agron. Bot. & INRA Ecol. hydrobiol., Rennes, 28 p.
- HAURY J., 1990. - *Observatoire des rivières. II - Ruisseaux de la Blandinière, de la Plesse, de la Roche Elie, de la Haute Mayenne et de la Briante : Flore des cours d'eau*. Rapp. interm. contr. P.N.R. Normandie-Maine. Lab. Ecol. hydrobiol. INRA & Chaire Botanique ENSA, Rennes, 23 p.
- HAURY J., 1991. - *Observatoire des rivières dans le Parc Naturel Régional Normandie-Maine. III : le Tilleul, l'Udon et la Gourbe - Flore des cours d'eau*. Rapp. interm. contr. P.N.R. Normandie-Maine. Lab. Ecol. hydrobiol. INRA & Chaire Botanique ENSA, Rennes, 45 p.
- HAURY J., 1991b. Les macrophytes comme facteurs structurant les peuplements piscicoles. Comm. Conseil Scientifique "Structure des Peuplements piscicoles", Paris, 27 Mars 1991, 19 p.
- HAURY J., 1991e. - *Observatoire des rivières dans le Parc Naturel Régional Normandie-Maine. III : le Tilleul, l'Udon et la Gourbe - Flore des cours d'eau*. Rapp. interm. contr. P.N.R. Normandie-Maine. Lab. Ecol. hydrobiol. INRA & Chaire Botanique ENSA, Rennes, 45 p.
- HAURY J., 1992a. - *Bilan de trois années d'étude. Observatoire des rivières dans le Parc Naturel Régional Normandie-Maine : les macrophytes* - Rapp. synth. contr. P.N.R. Normandie-Maine. Lab. Ecol. hydrobiol. INRA & Chaire Botanique ENSA, Rennes, 104 p.
- HAURY J., 1992a. - *La restauration du Tilleul : une opération aux multiples facettes*. Lab. Ecol. hydrobiol. INRA & Chaire Botanique ENSA, Rennes, 6p.
- HAURY J., 1992b. - *La restauration du Tilleul : 1 - Impacts immédiats*. Rapp. contr. P.N.R. Norm. Maine, Ass. Etudes et Chantiers, Lab. Ecol. hydrobiol. INRA & Chaire Botanique ENSA, Rennes, 74 p.
- HAURY J., 1992c. - *Bilan de trois années d'étude. Observatoire des rivières dans le Parc Naturel Régional Normandie-Maine : les macrophytes* - Rapp. synth. contr. P.N.R. Normandie-Maine. Lab. Ecol. hydrobiol. INRA & Chaire Botanique ENSA, Rennes, 104 p.
- HAURY J., 1996. - *Macrophytes des cours d'eau : bioindication et habitat piscicole*. Thèse d'Habilitation à Diriger des Recherches. Université de Rennes I. 3 vol. : 99 p. + 2 vol. n.p.
- HAURY J., 1997. - Les macrophytes, estimateurs de la qualité des cours d'eau. In CHARTIER-TOUZE N., GALVIN Y., LEVEQUE C., SOUCHON Y. (Coord.) : « Etat de santé des écosystèmes aquatiques - Les variables biologiques comme indicateurs », 195-213. G.I.P. Hydrosystèmes, CEMAGREF Ed., Paris.
- HAURY J., BOSSARD Ph., 1992. - *Etude d'impact des remembrements : Description et cotation des cours d'eau*. INRA Ecol. Hydrobiol. & Féd. dépt. AAPP Ille-et-Vilaine, Rennes :38 p.
- HAURY J., COIFFARD S., 1995. - *Observatoire des rivières, phase 2 - 1994. Végétation et physico-chimie de 21 stations en petits cours d'eau*. Rapp. contr. P.N.R. Normandie-Maine. Lab. Ecol. hydrobiol. INRA & Chaire Botanique ENSA, Rennes : 62 p. + ann.
- HAURY J., COIFFARD S., 1997. - *Fonctionnement des petits hydrosystèmes - Recommandations pratiques pour une gestion intégrée des têtes de bassin versant*. Rapp. avanc. (2ème année), INRA-C.S.P.-Univ. Caen : 55 p.
- HAURY J., DANIEL H., VOOGDEN K., FAURE A., LE DARD M., 1996. - Comparaison des métriques de l'environnement pour estimer la pollution par deux piscicultures en système truiticole breton : physico-chimie et bio-indicateurs végétaux et animaux. In AMIARD-TRIQUET C. & MAHON T. (Eds) *La Qualité de l'Eau*, pp. 75-78. Coll. pluridisciplinaire Univ. Nantes, 26-28 Oct. 1995.
- HAURY J., DUTARTRE A., 1990. - *Les macrophytes aquatiques : bioindicateurs de la qualité des eaux superficielles - Recommandations méthodologiques, Département de la Lozère*. Lab. Ecol. hydrobiol. INRA & Chaire Botanique ENSA Rennes - CEMAGREF QEPP Cestas, Etude CEMAGREF n° 68, 16 p.

- HAURY J., MULLER S., 1991. Variations écologiques et chorologiques de la végétation macrophytique des rivières acides du Massif Armoricaïn et des Vosges du Nord (France). *Rev. Sci. Eau* 4 (4) : 463-482.
- HAURY J., OMBREDANE D., BAGLINIERE J.L., 1991. - L'habitat de la truite commune (*Salmo trutta* L.) en rivière. Dans *La Truite : Biologie et Ecologie* (sous la direction de J.L. BAGLINIERE et G. MAISSE). INRA éd. Paris, pp. 47-96.
- HAURY J., PELTRE M.-C., 1993. - Intérêts et limites des "indices macrophytes" pour qualifier la mésologie et la physico-chimie des cours d'eau : exemples armoricains, picards et lorrains. *Annls Limnol.* 29 (3-4) : 239-253.
- HAURY J., PELTRE M.C., MULLER S., TREMOLIERES M., BARBE J., DUTARTRE A., GUERLESQUIN M., 1996. - Des indices macrophytiques pour estimer la qualité des cours d'eau français : premières propositions. *Ecologie* 27 : 79-90.
- HAURY J., RICHARD A., 1991. - *Bilan de trois années d'étude. Observatoire des petits cours d'eau dans le Parc Naturel Régional Normandie-Maine*. INRA Ecol. hydrobiol. & ENSA Bot. Rennes - Cons. sup. Pêche, Rennes : 13 p.
- HAURY J., RICHARD A., 1993. *Observatoire des petits cours d'eau du Parc Naturel Régional Normandie-Maine - Bilan de la première phase (1989-1991)*. INRA Ecol. hydrobiol. & ENSA Bot. Rennes - Cons. sup. Pêche, Rennes : 42 p.
- HAURY J., THIEBAUT G., MULLER S., 1995. - Les associations rhéophiles des rivières acides du Massif Armoricaïn, de Lozère et des Vosges du Nord, dans un contexte Ouest-Européen. *Comm. 37 th IAVS, Colloq. Phytosociol.* 24 : 145-168.
- HOLMES N.T.H., WHITTON B.A., 1977 - The macrophytic vegetation of the River Tees in 1975 : observed and predicted changes. *Freshwat. Biol.*, 7 : 43-60.
- HORNIER E., 1993. - Le suivi scientifique d'un cours d'eau après restauration : un thème de recherche dans le Parc Naturel Régional Normandie-Maine. ENSA-INRA Rennes, Univ. Metz, Rapp. stage MST1, P.N.R. Normandie Maine, 25 p. + Cartes H.T.
- HUET M., 1949. Aperçu des relations entre la pente et les populations piscicoles des eaux courantes. *Rev. suisse d'Hydrol.*, 11 (3-4), 332-335.
- ILLIES J. BOTOSANEANU L., 1963. Problème et méthode de la classification et de la zonation écologique des eaux courantes considérées surtout d'un point de vue faunistique. *Mitt. internat. Verein Theor. Angew. Limnol.*, 12 : 1-57.
- LAMOUREUX N., 1995. - Les modèles statistiques de description de l'habitat hydraulique : des outils pour l'écologie. *Bull. fr. Pêche Piscic.* 337 338/339 : 157-164.
- LEBART L., MORINEAU A., LAMBERT T., PLEUVRET P., 1997. SPAD 3.2 Système Portable pour l'Analyse des Données. CISIA, Saint-Mandé.
- LIEGEY F., 1994. - Suivi de la ripisylve d'un cours d'eau après entretien. ENSA-INRA Rennes, Univ. Metz, Rapp. stage MST1, P.N.R. Normandie Maine, 28 p. + 1 Vol. ann.
- MAISSE G., BAGLINIERE J.L., 1991. - Biologie de la Truite commune (*Salmo trutta* L.) dans les rivières françaises. In J.L. BAGLINIERE et G. MAISSE (Eds.) : *La Truite : Biologie et Ecologie*. I.N.R.A. éd. Paris : 25-45.
- MALAVOI J.R., 1989. Typologie des faciès d'écoulement ou unités morphodynamiques des cours d'eau à haute énergie. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 315 : 189-210.
- MICHEL P., OBERDORFF Th., 1995. Feeding habits of fourteen european fish species. *Cybiu* 19 (1) : 5-46.
- MONTEBAULT D., 1992. - *Etude de la relation : état des berges-ripisylve - Travail sur les rivières de l'Orne*. Rapp. préstage D.A.A. Gén. Environ. ENSA Rennes, non paginé.
- NEVEU A., 1981. Densité et microrépartition des différentes espèces de poissons dans la Basse-Nivelle, petit fleuve côtier des Pyrénées atlantiques. *Bull. Fr. Pisci.*, 280 : 86-103.
- NEWBOLD C., HOLMES N.T.H., 1987. Nature Conservation : water quality criteria and plants as water quality monitors. *Water Pollution Control*, 86 (2) : 345-364.
- NEWBOLD C., HOLMES N.T.H., 1987. - Nature conservation : water quality criteria and plants as water quality monitors. *Water Pollution Control* 86 (2) : 345-364.
- OMBREDANE D., HAURY J., 1992. - Description de l'habitat piscicole. ENSA-INRA Rennes, n.p.
- OMBREDANE D., HAURY J., 1995. - *Aménagements expérimentaux de caches sur la Rouvrette, ruisseau recalibré de Basse-Normandie - Impacts sur la population de juvéniles de truite commune (Salmo trutta)*. E.N.S.A. D.E.E.R.N. Ecol. Hydrosyst. cont., Rennes : 6p + ann.

- OMBREDANE D., HAURY J., CHAPON P.M., 1995. - Heterogeneity and typology of fish habitat in the main stream of a Breton coastal river (Elorn-Finistère, France). *Hydrobiologia* 300-301 : 259-268.
- PAGES J., ESCOFIER B., HAURY J., 1991. Multiple factor analysis : a method to analyse several groups of variables measured on the same set of individuals. In J. DEVILLERS and W. KARCHER (eds.), *Applied Multivariate Analysis in SAR and ENVIRONMENTAL Studies*, 33-83. ECSC, EEC, EAEC, Brussels and Luxembourg.
- RICHARD A., 1993. - *Observatoire des petits cours d'eau. Années 1989-1990-1991*. Rapp. final du Cons. Sup. Pêche, contr. P.N.R. Normandie-Maine : 10 p. + ann. (107 p.)
- RICHARD A., 1994. - *Observatoire des petits cours d'eau. Peuplements piscicoles 1994*. Rapp. contr. P.N.R. Normandie-Maine. Cons. Sup. Pêche, n. p.
- RICHARD A., 1994. *Observatoire des petits cours d'eau. Peuplements piscicoles 1994*. Rapp. contr. P.N.R. Normandie-Maine. Cons. Sup. Pêche, 107 p.
- RICHARD A., BIDAL P.M., 1998. - IGN et état du milieu aquatique d'eau courante. Conseil Supérieur de la Pêche, Délégation rég. Basse-Normandie, Bretagne, Cesson-Sévigné : 4 p. +5 fig.
- RODRIGUEZ S. & VERGON J.P., 1996. - *Guide pratique de détermination générique des algues macrophytes d'eau douce*. DIREN Franche-Comté, Ministère de l'Environnement, Paris : 110 p.
- ROUSSEL J.M., 1998. - *Utilisation de l'espace par la Truite commune (Salmo trutta L.) au cours du nyctémère - Un exemple du rôle fonctionnel de l'habitat en ruisseau*. Thèse E.N.S.A.R. Sciences de l'Environnement, Rennes : 186 p.
- ROUSSEL J.M., BARDONNET A., 1995. Activités nyctémérale et utilisation de la séquence radier-profond par les truitelles d'un an (*Salmo trutta L.*) *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 337-338-339 : 221-230.
- ROUX M., 1991a. - Basic procedures in hierarchical cluster analysis. In J. DEVILLERS and W. KARCHER (eds.), *Applied Multivariate Analysis in SAR and ENVIRONMENTAL Studies*, 115-135. ECSC, EEC, EAEC, Brussels and Luxembourg.
- ROUX M., 1991b. - Interpretation of hierarchical clustering. In J. DEVILLERS and W. KARCHER (eds.), *Applied Multivariate Analysis in SAR and ENVIRONMENTAL Studies*, 137-152. ECSC, EEC, EAEC, Brussels and Luxembourg.
- SCHUMACKER R., LECOINTE A., TOUFFET J., De ZUTTERE P., LELERCQ L., FABRI R., 1981. - *Hyocomium armoricum* (Brid.) Wijk et Marg. en Belgique et dans le Nord-Ouest de la France (Ardenne, Bretagne, Normandie). *Cryptogamie, Bryol. Lichénol.* 2 (3) : 277-321.
- STANDING COMMITTEE OF ANALYSTS - COLLECTIF H.M.S.O. (HASLAM S.M., HOLMES N.T.H., HARDING J.P.C.), 1987. - *Methods for the use of aquatic macrophytes for assessing water quality*. Her Majesty's Stationery Office, London, 176 p.
- STRACCHI A., COIFFARD S., HAURY J., RICHARD A., DALIGAULT P., 1995. - *Restauration des petits cours d'eau et impacts des étangs : application au Tilleul*. Rapp. contr. P.N.R. Normandie-Maine, E.N.S.A. Rennes D.E.E.R.N. Ecol. Sci. phytosan. & I.N.R.A. Lab. Ecol. hydrobiol., Rennes : 59 p + Ann.
- TACHET H., BOURNAUD M., RICHOUX Ph., CAILLERE L., COULET M., FONTAINE J., JUGET J., PATTEE E., 1980. Introduction à l'étude des macroinvertébrés des eaux douces. Univ. Claude Bernard Lyon I, *Ass. franç. Limnologie, Min. Environnement*; Ed. C.R.D.P. Lyon : 150 p.
- THEVENIN P., 1991. - *Cartographie d'un cours d'eau pour une étude d'aménagement - L'exemple du Tilleul*. ENSA-INRA Rennes, ENITHP Angers, Mém. Pré-stage, P.N.R. Normandie Maine, 26 p. + ann. + Cartes
- VERNEAUX J., 1973. Cours d'eau de Franche-Comté (Massif du Jura). Recherches écologiques sur le réseau hydrographique du Doubs. Essai de biotypologie. Thèse Ann. Sci. Univ. Besançon, 3 (9), 260 p.
- VERNEAUX J., 1977. Biotypologie de l'écosystème "eau courante". Déterminisme approché de la structure biotypologique. *C.R. Acad. Sc. Paris.*, 284, Sér. D : 77-79.
- VIGNERON T., CHAPON P.-M., 1996. Qualité écologique des cours d'eau de Bretagne - Rapport de synthèse & Rapport annexe. Rapp. conv. CSP-AELB 95 00 061. Conseil

Supérieur de la Pêche, D.R. Bretagne-Basse Normandie, Cesson-Sévigné : 70 p. + ann.;
1 vol. non paginé.

ANNEXES

ANNEXE 1 : LISTE DES TRAVAUX REALISES

RAPPORTS

- BIANNIC M., 1997. - *Analyse quantitative multicompartiments des hydrosystèmes en tête de bassin versant*. Mém. CESA Génie de l'Environnement, E.N.S.A. D.E.E.R.N. Ecol. Sci. phytosanitaires & I.N.R.A. Lab. Ecol. aq., Rennes : 42 P; + ann.
- BOMBONEL J.-P., 1991. - *Etude hydrobiologique de quelques cours d'eau du Parc Normandie-Maine*, 2 vol.. Mém. D.E.S.S. Exploitation des Ressources vivantes côtières Univ. Caen, C.S.P. D.R. 2 Rennes, I.N.R.A. Ecol. hydrobiol. & E.N.S.A. Bot. Rennes, P.N.R. Normandie-Maine : 71 p. + ann., Annexes.
- BONO David, 1998. - *Bilan de la restauration d'un petit cours d'eau : habitat, biocénoses aquatiques et ripisylve - Le cas du Tilleul*. Mém. fin Etudes Ingénieur forestier - Gestion de l'Environnement E.T.S. d'Enginyeria Agrària de Lleida (Univ. Lleida), E.N.S.A. D.E.E.R.N. Ecol. Sci. phytosanitaires : 68 p. + ann.
- BREHIER F., 1995. - *Typologie des faciès d'écoulement des petits cours d'eau en tête de bassin versant dans le Parc Naturel Régional Normandie-Maine*. Mém. BTS Gestion et Protection de la Nature, L.A. Sées : 33 p. + ann.
- COIFFARD S., 1994. - *Description des bassins-versants des cours d'eau d'eau de l'Observatoire des rivières*. P.N.R. Normandie-Maine, Carrouges (61) : 32 p., + cartes.
- COIFFARD S.; HAURY J., RICHARD A., DALIGAULT P., 1995. - *Observatoire des rivières - Bilan de la première et de la seconde phases*. P.N.R. Normandie-Maine, I.N.R.A. & E.N.S.A., I.N.R.A. Lab. Ecol. hydrobiol. & E.N.S.A. Botanique, Rennes, 2 vol., 52 p. + Ann.
- COIFFARD S., HAURY J., 1996. - *Analyse multi-compartiments des hydrosystèmes de tête de bassin versant*. Rapp. interm. contr. C.S.P.-Univ. Caen, I.N.R.A. Ecol. aq. Rennes : 40 p.
- DALIGAULT P., 1993e - *Suivi scientifique de la restauration du Tilleul. Indices biologiques globaux*. Hydrobio, Décembre 1993: 1-23 + Ann.
- DALIGAULT P., 1993a. - *La Mousse à La Sauvagère (61) - Indice Biologique Global du 22/07/92*. Conseil Supérieur de la Pêche, Dél. rég. Bretagne-Basse Normandie, Cesson-Sévigné : 11 p. + ann.
- DALIGAULT P., 1993b. - *Ruisseau d'Yvrande à Beauchêne (61) - Indice Biologique Global du 21/07/92*. Conseil Supérieur de la Pêche, Dél. rég. Bretagne-Basse Normandie, Cesson-Sévigné : 13 p. + ann.
- DALIGAULT P., 1993c. - *Ruisseau de la Fontaine-au-Héron : Station "Le Jonquerel" à Saint-Aubert-sur-Orne (61) - Indice Biologique Global du 22/07/92*. Conseil Supérieur de la Pêche, Dél. rég. Bretagne-Basse Normandie, Cesson-Sévigné : 11 p. + ann.
- DALIGAULT P., 1993d. - *La Rouvre à Saint-Georges d'Annebecq (61) - Indice Biologique Global du 22/07/92*. Conseil Supérieur de la Pêche, Dél. rég. Bretagne-Basse Normandie, Cesson-Sévigné : 11 p. + ann.
- DALIGAULT P., 1994 - *Observatoire des cours d'eau du Parc Naturel Régional Normandie-Maine : Indices biologiques globaux normalisés. Prélèvements de juillet 1994*. Répérage des habitats. Hydrobio, 7 pages.
- DALIGAULT P., PLOMBIN E., 1995 - *Observatoire des cours d'eau du Parc Naturel Régional Normandie-Maine : Indices biologiques globaux normalisés. Prélèvements de juillet 1994 sur 20 stations*. Hydrobio, 1-137 + Ann.
- DUBY C. *Qualité physico-chimique de 20 cours d'eau du Parc Régional Normandie-Maine*, BTS Anabiotec, Promotion 1996/1998, 30 pages + Ann.

- EIGLE D., 1994. - Etude des effets morphodynamiques de l'aménagement d'un cours d'eau à salmonides : Le Tilleul, affluent de la Mayenne. ENSA-INRA Rennes, Univ. Clermont, Mém. Maîtrise Biologie des Eaux, P.N.R. Normandie Maine, 45 p. + 1 vol. ann.
- GARCIA A., 1992a. - *Etude des effets écologiques et morphodynamiques de l'aménagement d'un cours d'eau à salmonides - La restauration du Tilleul, affluent de la Mayenne*. Mém. fin d'études E.N.S.A., I.N.R.A. Lab. Ecol. hydrobiol. & E.N.S.A. Botanique, Rennes, 2 vol., 52 p. + Ann.
- GARCIA A., 1992b. - *Ripisylve du Tilleul*. ENSA Botanique Rennes, non paginé.
- GODON L., 1992. - *Définition des caractéristiques d'usage d'un bassin-versant - Etat de l'écosystème cours d'eau : application au bassin-versant du Tilleul (61-53)*. Rapp. Stage été INA Paris-Grignon : 29 p. + ann.
- HAURY J., 1989. - *Analyse de la flore et de la végétation de quelques ruisseaux normands - Diagnostic écologique et "état zéro"*. Rapp. interm. Contrat P.N.R. Normandie-Maine & INRA Ecol. hydrobiol.. Ec. nat. sup.agron. Bot. & INRA Ecol. hydrobiol., Rennes, 28 p.
- HAURY J., 1990. - *Observatoire des rivières. II - Ruisseaux de la Blandinière, de la Plesse, de la Roche Elie, de la Haute Mayenne et de la Briante : Flore des cours d'eau*. Rapp. interm. contr. P.N.R. Normandie-Maine. Lab. Ecol. hydrobiol. INRA & Chaire Botanique ENSA, Rennes, 23 p.
- HAURY J., 1991. - *Observatoire des rivières dans le Parc Naturel Régional Normandie-Maine. III : le Tilleul, l'Udon et la Gourbe - Flore des cours d'eau*. Rapp. interm. contr. P.N.R. Normandie-Maine. Lab. Ecol. hydrobiol. INRA & Chaire Botanique ENSA, Rennes, 45 p.
- HAURY J., 1991e. - *Observatoire des rivières dans le Parc Naturel Régional Normandie-Maine. III : le Tilleul, l'Udon et la Gourbe - Flore des cours d'eau*. Rapp. interm. contr. P.N.R. Normandie-Maine. Lab. Ecol. hydrobiol. INRA & Chaire Botanique ENSA, Rennes, 45 p.
- HAURY J., 1992a. - *Bilan de trois années d'étude. Observatoire des rivières dans le Parc Naturel Régional Normandie-Maine : les macrophytes* - Rapp. synth. contr. P.N.R. Normandie-Maine. Lab. Ecol. hydrobiol. INRA & Chaire Botanique ENSA, Rennes, 104 p.
- HAURY J., 1992a. - *La restauration du Tilleul : une opération aux multiples facettes*. Lab. Ecol. hydrobiol. INRA & Chaire Botanique ENSA. Rennes, 6p.
- HAURY J., 1992b. - *La restauration du Tilleul : 1 - Impacts immédiats*. Rapp. contr. P.N.R. Norm. Maine, Ass. Etudes et Chantiers, Lab. Ecol. hydrobiol. INRA & Chaire Botanique ENSA, Rennes, 74 p.
- HAURY J., 1992c. - *Bilan de trois années d'étude. Observatoire des rivières dans le Parc Naturel Régional Normandie-Maine : les macrophytes* - Rapp. synth. contr. P.N.R. Normandie-Maine. Lab. Ecol. hydrobiol. INRA & Chaire Botanique ENSA, Rennes, 104 p.
- HAURY J., COIFFARD S., 1995. - *Observatoire des rivières, phase 2 - 1994. Végétation et physico-chimie de 21 stations en petits cours d'eau*. Rapp. contr. P.N.R. Normandie-Maine. Lab. Ecol. hydrobiol. INRA & Chaire Botanique ENSA, Rennes : 62 p. + ann.
- HAURY J., COIFFARD S., 1997. - *Fonctionnement des petits hydrosystèmes - Recommandations pratiques pour une gestion intégrée des têtes de bassin versant*. Rapp. avanc. (2ème année), INRA-C.S.P.-Univ. Caen : 55 p.
- HAURY J., RICHARD A., 1991. - *Bilan de trois années d'étude. Observatoire des petits cours d'eau dans le Parc Naturel Régional Normandie-Maine*. INRA Ecol. hydrobiol. & ENSA Bot. Rennes - Cons. sup. Pêche, Rennes : 13 p.

- HAURY J., RICHARD A., 1993. *Observatoire des petits cours d'eau du Parc Naturel Régional Normandie-Maine - Bilan de la première phase (1989-1991)*. INRA Ecol. hydrobiol. & ENSA Bot. Rennes - Cons. sup. Pêche, Rennes : 42 p.
- HORNIER E., 1993. - Le suivi scientifique d'un cours d'eau après restauration : un thème de recherche dans le Parc Naturel Régional Normandie-Maine. ENSA-INRA Rennes, Univ. Metz, Rapp. stage MST1, P.N.R. Normandie Maine, 25 p. + Cartes H.T.
- LIEGEY F., 1994. - Suivi de la ripisylve d'un cours d'eau après entretien. ENSA-INRA Rennes, Univ. Metz, Rapp. stage MST1, P.N.R. Normandie Maine, 28 p. + 1 Vol. ann.
- MONTEBAULT D., 1992. - *Etude de la relation : état des berges-ripisylve - Travail sur les rivières de l'Orne*. Rapp. préstage D.A.A. Gén. Environ. ENSA Rennes, non paginé.
- RICHARD A., 1993. - *Observatoire des petits cours d'eau. Années 1989-1990-1991*. Rapp. final du Cons. Sup. Pêche, contr. P.N.R. Normandie-Maine : 10 p. + ann. (107 p.)
- RICHARD A., 1994. - *Observatoire des petits cours d'eau. Peuplements piscicoles 1994*. Rapp. contr. P.N.R. Normandie-Maine. Cons. Sup. Pêche, n. p.
- STRACCHI A., COIFFARD S., HAURY J., RICHARD A., DALIGAULT P., 1995. - *Restauration des petits cours d'eau et impacts des étangs : application au Tilleul*. Rapp. contr. P.N.R. Normandie-Maine, E.N.S.A. Rennes D.E.E.R.N. Ecol. Sci. phytosan. & I.N.R.A. Lab. Ecol. hydrobiol., Rennes : 59 p + Ann.
- THEVENIN P., 1991. - Cartographie d'un cours d'eau pour une étude d'aménagement - L'exemple du Tilleul. ENSA-INRA Rennes, ENITHP Angers, Mém. Pré-stage, P.N.R. Normandie Maine, 26 p. + ann. + Cartes

COMMUNICATIONS

- COIFFARD S., HAURY J., 1995 - *Qualité et biodiversité dans les cours d'eau-Relations avec les usages du bassin versant*. Comm. Séminaire I.N.R.A. A.I.P. SESAME « Biodiversité et Activités agricoles », Rennes, 24-25 Oct. 1995 : 10 p.
- HAURY J., BONO D., STRACCHI A., 1998. - Végétation des petits ruisseaux et de leurs berges : composition floristique et influence d'un aménagement. Comm. Congr. Ass. Fr. Limnol., GRETI, Univ. Savoie, « Gradients et discontinuités ».
- HAURY J., BIANNIC M., COIFFARD S., RICHARD A., LE COEUR D., 1997. - Distribution des macrophytes et des poissons à l'échelle du faciès d'écoulement. Comm. 1er Colloque I.F.R. 43 « Facteurs de l'Environnement et Biologie des Poissons », Univ. Rennes I & INRA, Rennes.

Etude financée par :

- Le Conseil Régional de Basse-Normandie
- Le Conseil Régional des Pays de la Loire
- La Direction Régionale de l'Environnement
- L'Agence de Bassin Seine-Normandie
- L'Agence de Basse Loire-Bretagne
- Fonds Européens (FEOGA) Basse-Normandie et Pays de la Loire